# Paläoklima

G. Skoda

**Abstract**: **Paleoclimate**. The global climate is a result of constant interaction between the radiation from the sun with our gaseous atmosphere, land-masses, and oceans. Since the origin of earth about 4.5 billion years ago, the climate has changed again and again in irregular intervals, there have been warm and cold, dry and humid periods. Facing a possible climate change, the question arises: „What consequences does human interference have for the climate?" It is very difficult to predict the long term consequences in any detail.
The further we go back in time, the more imprecise the climate history information gets, and scientists have to resort to more imprecise methods such as geological procedures, sediment analysis or studies of annual tree-rings. More precise records, especially systematic measurements, have only been available for about 200 years, and these usually come from densely populated areas. This lack of data creates a problem for climate research – to find out whether the climate change that has been observed since the begin of the industrialised period is caused by natural fluctuation or is partly the result of human activity. Improved climate models brought considerable progress in this field. There are clear indications that the global warming, the start of which we currently experience, is partly caused by humans (usage of fossil fuels).
Paleoclimate research can help to better predict the probability of disasters occurring (e.g. draughts, floodings, storms…).

**Key words**: Paleoclimate, climate models, global warming.

## Bedeutung des Klimas für das Leben auf der Erde

Auf der Erde hat sich höheres Leben nur deshalb entwickeln können, weil unser Planet eine Atmosphäre besitzt, die wegen ihrer spezifischen Zusammensetzung einen natürlichen Treibhauseffekt bewirkt. Die globale Strahlungs-Gleichgewichtstemperatur (das ist jene Temperatur an der Erdoberfläche, welche sich als Bilanz aller von der Sonne einkommenden und in den Weltraum abstrahlenden Wärmeflüsse einstellt) wird dadurch nämlich von 255K (-18 °C) auf 288K (+15 °C) erhöht und damit in einen lebensfreundlichen Bereich oberhalb des Gefrierpunktes von Wasser gebracht. Höheres Leben in den uns bekannten Formen ist aber erst möglich geworden, seit sich der Sauerstoffanteil der Atmosphäre in der uns heute verfügbaren Größenordnung eingestellt hatte und die Biosphäre durch den Aufbau einer stratosphärischen Ozonschicht vor den zerstörerischen Anteilen der ultravioletten Sonnenstrahlung geschützt wurde.

Die Prozesse, die sich als Folge der ständigen Interaktion der Sonnenstrahlung mit der lebensspendenden und schützenden irdischen Atmosphäre und den Landmassen und Ozeanen abspielen, machen insgesamt das globale Klimasystem aus. Dessen überaus komplexes dynamisches Wirkungsgefüge, mit seiner Vernetzung der vielfältigsten extraterrestrischen und irdischen Einflüsse, wird bereits bei der Betrachtung der Temperatur als nur einem der zahlreichen Klimaelemente deutlich. Das Klimasystem bewirkt intensive Wechselbeziehungen unter anderem zwischen der Litho-, Hydro- bzw. Kryosphäre sowie mit der Bio- und Atmosphäre und hält die miteinander vernetzten Kreisläufe zwischen diesen Sphären in Gang. So versorgt der Kreislauf des Wassers die Biosphäre mit dem lebensnotwendigen Nass und trägt gleichzeitig entscheidend zur Verwitterung und Abtragung von Gesteinen an der Erdoberfläche und zur Bodenbildung bei. Die Pflanzendecke wiederum beeinflusst das Rückhaltevermögen des Bodens für Wasser, den Strahlungshaushalt der Erdoberfläche und der Atmosphäre, und mit ihren Stoffwechselprozessen greift sie entscheidend in den globalen Kohlenstoffkreislauf ein. Für den Kreislauf des Treibhausgases Kohlendioxid spielen wiederum die Ozeane und die darin lebenden Organismen als Senken eine wichtige Rolle.

Das globale Klimasystem setzt sich aus unzähligen regionalen Systemen unterschiedlichster räumlicher und zeitlicher Skalen zusammen, die auf das übergeordnete System rückwirken. Für die räumlichen oder geographischen Verteilungsmuster der Klimate ist neben der grundlegenden geo- und astrophysikalischen Gegebenheiten (wie etwa Kugelgestalt und Rotation der Erde, Neigung der Erdachse, Erdbahnparameter etc.) vor allem die Land-Meer-Verteilung von großer Bedeutung.

Denisia **20**,
zugleich Kataloge der oberösterreichischen Landesmuseen
Neue Serie **66** (2007):
115–138

**Tab. 1**: Klima-Archive und Methoden zu ihrer Datierung.

| Klima-Archive | Biostratigraphie | Warvenchronologie | Dendrochronologie | Tephrochronologie | Radiometrische Daten | Sauerstoffisotopendaten | (Zeitreihen) Magnetoanalysen | Luminiszenz-stratographie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **marin** | | | | | | | | |
| Meeressedimente | x | | | x | x | | x | |
| Fossilien | x | | | | x | x | | |
| Korallenriffe | x | | | | x | x | | |
| Evaporite | | | | | x | x | | |
| **terrestrisch** | | | | | | | | |
| Seesedimente (Warven) | x | x | | x | x | x | | x |
| (Paläo)Böden | | | | | x | x | x | x |
| Flusssedimente | | | | | | | | x |
| Moore | | | x | | | | | |
| Höhlensedimente, -sinter | | x | | | x | x | | |
| Holz (Baumringe) | | | x | | x | | | |
| Kryosphäre | | | | | | | | |
| Festlandeis (Eisbohrkerne) | | | | x | | x | | |
| Schelfeis | | | | (x) | | x | | |
| alpine Gletscher | | | | x | | x | | |

Erstere sind zunächst einmal für die generelle Breitenabhängigkeit der Strahlungsbilanz, insbesondere für den daraus folgenden Wärmeüberschuss in den Tropen und das Wärmedefizit in den Polargebieten, verantwortlich. Die dadurch angetriebenen, miteinander gekoppelten atmosphärischen und ozeanischen (thermohalinen, d.h. von Temperatur und Salzgehalts- bzw. Dichteunterschieden des Meerwassers abhängigen) Ausgleichsströmungen sind erdumspannend und nehmen einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des Klimas auf der Erde. Durch die Land-Meer-Verteilung werden sowohl die atmosphärische Zirkulation als auch die ozeanischen Oberflächen- und Tiefenströmungen erheblich modifiziert.

Das Klimasystem, wie es auf der Erde unter den heute gegebenen terrestrischen und extraterrestrischen Rahmenbedingungen wirksam ist, ist also in erster Linie für die an der Erdoberfläche herrschenden Verhältnisse und damit für die Existenz und Verbreitung von tierischem und pflanzlichen Leben oder nutzbarer Böden verantwortlich. Während der geologischen Vergangenheit kam es immer wieder zu dramatischen und auch katastrophalen, aber eben „natürlichen" Veränderungen der Lebensbedingungen, die von Klimaänderungen begleitet oder verursacht wurden (Abb. 1). Angesichts eines möglichen globalen Klimawandels stellt sich insbesondere die Frage: „Welche Konsequenzen haben geänderte Rahmenbedingungen für das globale Klimaregime und damit auch für die Verbreitung des Lebens auf der Erde?" Unser eigener anthropogener Eingriff in die Zusammensetzung der Atmosphäre und die daraus resultierenden Klimaveränderungen sind in ihren Konsequenzen bisher noch kaum abzusehen.

## Klimageschichte

Die Erde ist vor etwa 4,6 Milliarden Jahren zusammen mit dem gesamten Sonnensystem aus einem rotierenden Gas entstanden, welches zu 90 % aus Wasserstoff und zu 9 % aus Helium bestand. Das restliche Prozent bestand aus den schweren Elementen, die durch die Zentrifugalkräfte nach außen getrieben wurden und die heutigen Planeten bilden, von denen die größeren auch noch eine eigene Atmosphäre halten konnten. Die Uratmosphäre der Erde ist jedoch wahrscheinlich nicht nur durch dieses „Festhalten des Urnebels" entstanden, sondern auch durch intensive Vulkantätigkeit.

Mit verschiedenen geologischen Indikatoren kann der allgemeine Kurvenverlauf der Temperaturänderungen auf der Erde seit ihrem Ursprung vor etwa 4.6 Milliarden Jahren verfolgt werden.

Aus den Abb. 2 bis 4 können wir entnehmen, dass das Klima im Allgemeinen wärmer war als das der letz-

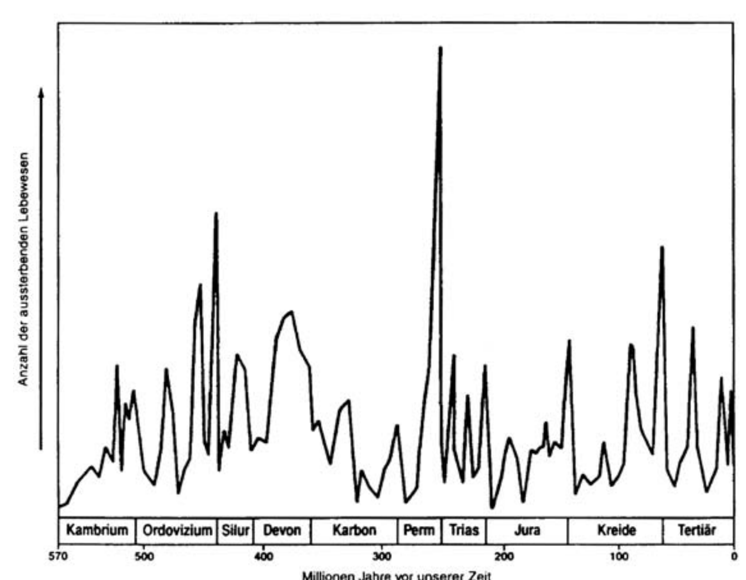



**Abb. 1**: Die Schwankungen der Aussterberate (= Zahl der aussterbenden Lebewesen pro Zeiteinheit) im Laufe der Erdgeschichte. Die Spitzen der Kurve markieren Massenaussterbe-Ereignisse. Seit dem Kambrium haben mehrere gravierende derartige Ereignisse stattgefunden.

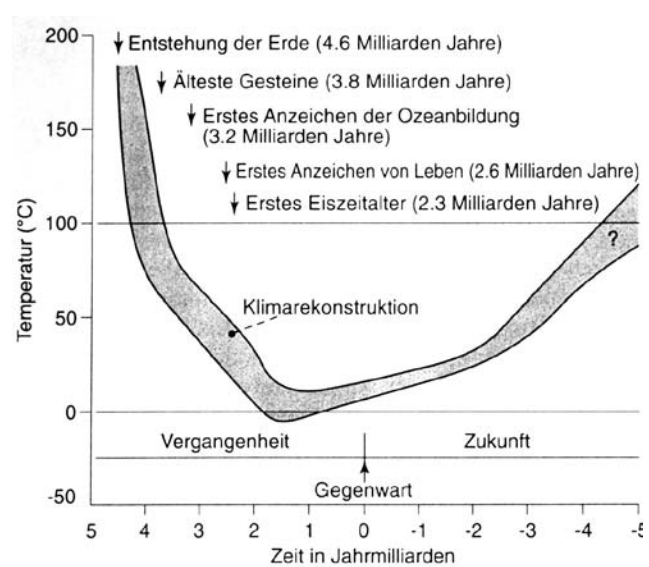



**Abb. 2**: Mutmaßlicher Verlauf des bodennahen Temperaturbandes in der irdischen Atmosphäre in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

ten 1 Million Jahren. Mit Hilfe von mathematisch-physikalischen Modellen lassen sich Klimarekonstruktionen von der Gegenwart bis etwa 2 Milliarden Jahre in die Vergangenheit durchführen. Diese Ergebnisse sind nützlich, den zukünftigen Klimaverlauf zu „erahnen".

Diese „Erste" Atmosphäre bestand hauptsächlich aus den Wasserstoffverbindungen von Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff, also aus Methan, $CH_4$, Ammoniak, $NH_3$ und Wasserdampf $H_2O$. Der Wasserstoff-Helium-Ball der Sonne zog sich immer mehr zusammen und erhitzte sich zunehmend. Dabei entstand eine Strahlung, welche die oben genannten Gase der Ur-Erdatmosphäre wieder in ihre Bestandteile zerlegte. Den dabei entstehenden atomaren Wasserstoff konnte die Erde mit ihrer Schwerkraft nicht halten, und aus dem atomaren Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff entstanden $CO_2$ und $N_2$ als Hauptbestandteile der „Zweiten" Erdatmosphäre. Allerdings war diese Erde bereits feucht, denn das verloren gegangene $H_2O$ wurde vom Vulkanismus nachgeliefert. Die heutige „Dritte" Atmosphäre wurde erst nach der Entstehung des Lebens gebildet. Sie unterscheidet sich von der „Zweiten Atmosphäre" dadurch, dass in ihr nur noch wenig $CO_2$ enthalten ist, stattdessen aber ein hoher Anteil von molekularem Sauerstoff $O_2$. Dieser Umbau der atmosphärischen Zusammensetzung durch die Photosynthese begann vor etwa drei Milliarden Jahren und dauerte über zwei Milliarden Jahre an.

Parallel zu diesen chemischen atmosphärischen Prozessen war die Erde in der Hälfte ihrer bisherigen Existenzzeit einem permanenten Abkühlungsprozess unterworfen, bis es vor etwa 2.5 Milliarden Jahren zu einem

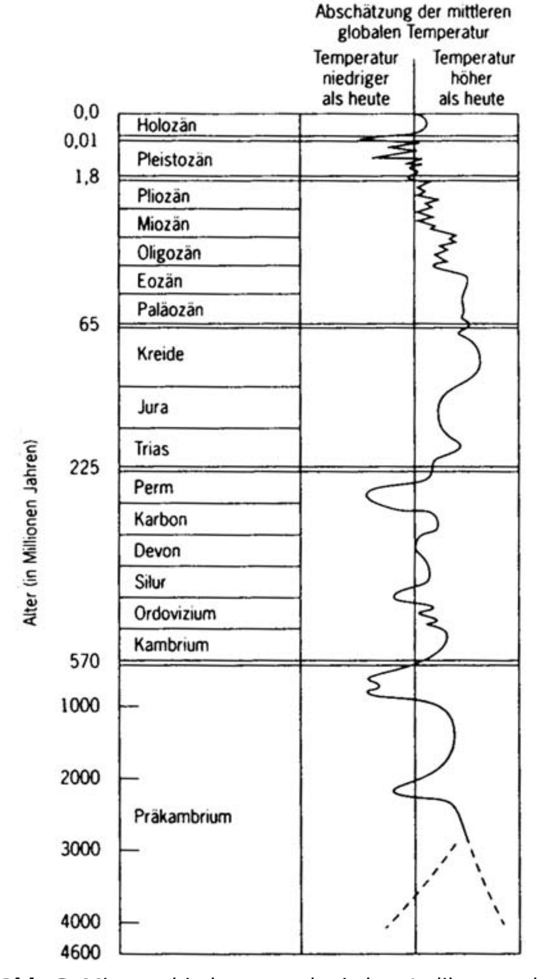



**Abb. 3**: Mit verschiedenen geologischen Indikatoren kann der allgemeine Kurvenverlauf der globalen Temperatur seit dem Ursprung der Erde vor etwa 4.6 Milliarden Jahren verfolgt werden. Derartige Rekonstruktionen lassen darauf schließen, dass das Erd-Klima im Allgemeinen wärmer war als das während der letzten 1 Million Jahre.

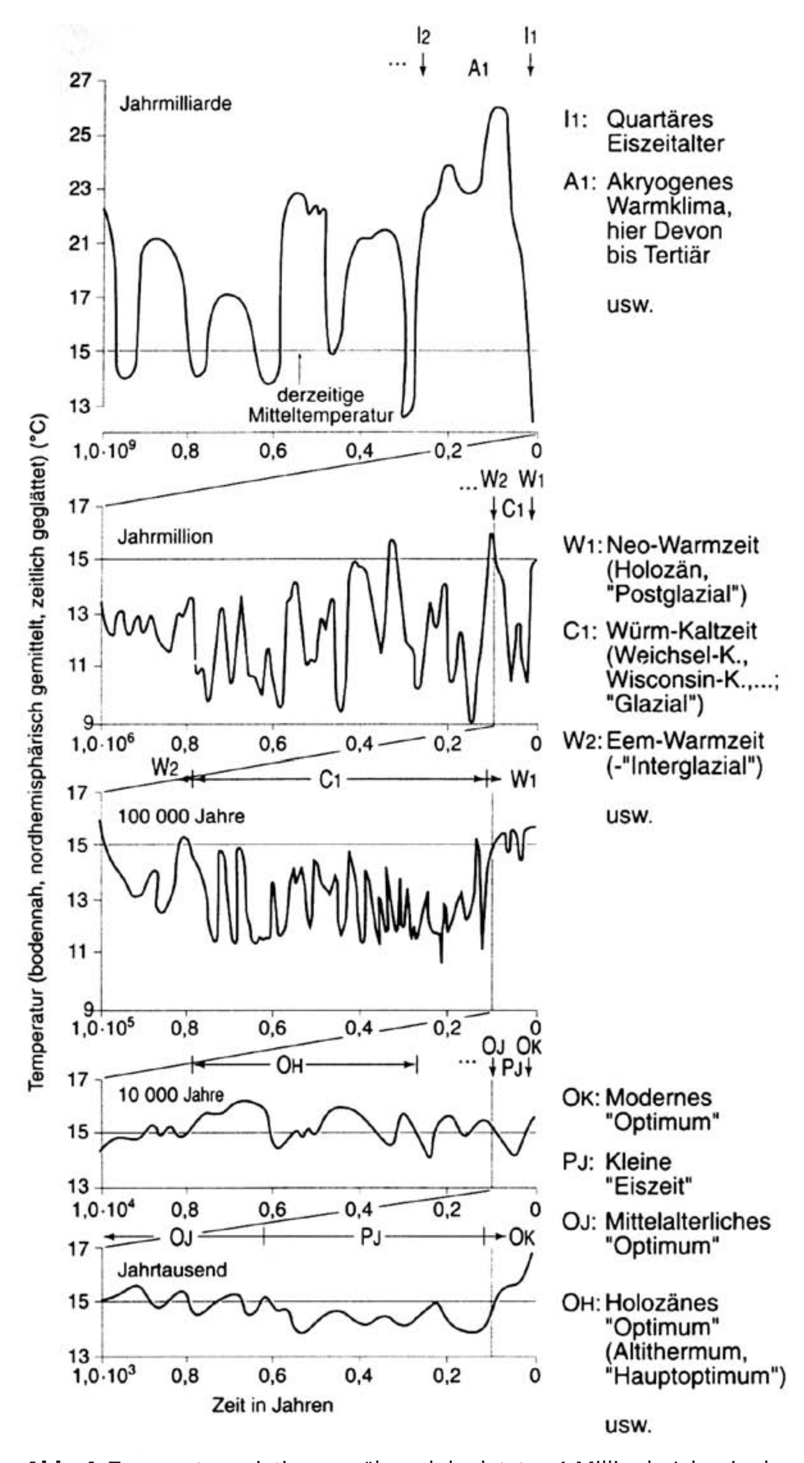



**Abb. 4**: Temperaturvariationen während der letzten 1 Milliarde Jahre in der Nordhemisphäre in verschiedenen zeitlichen Auflösungen bis heute.

ersten Eiszeitalter kam. Nach Modellen der Sonnenphysik wurde durch den „Lebenslauf" der Sonne der Abkühlungsprozess etwas später beendet. Er ging dann im Rahmen einer solaren Halbwelle sogar in einen Erwärmungsprozess über: Sonnenmodelle sagen für zukünftige erdgeschichtliche Zeiträume eine Zunahme dieser Erwärmung voraus bis zur Vernichtung alles Lebens (Abb. 2). Trotz der Erwärmung während der letzten 1.5-2 Milliarden Jahre kam es noch zu weiten Eiszeitaltern, und zwar vor etwa 960, 750, 680, 450, 280 Millionen Jahren. Ein weiteres Eiszeitalter, die so genannte Pleistozäne Vereisung, auch Quartär- oder Diluvium-Eiszeitalter genannt, begann auf der Nordhalbkugel „erst" vor etwa 2 Millionen Jahren und dauert bis zur Gegenwart an. (Die Südhalbkugel ist schon seit etwa 25 Millionen Jahren vereist). Zwar dauern alle diese Eiszeitalter jeweils mehrere Millionen Jahre an, sie machen jedoch insgesamt nur einen kleineren Anteil des gesamten erdgeschichtlichen Zeitraums aus. Der weitaus häufigste Klimazustand der Erde enthält keine Kryosphäre, sondern nur Land- und Ozeanoberflächen. Die Akryogenphasen dauerten jeweils hunderte von Millionen Jahren an (siehe Abb. 3).

Begriffe wie Pleistozän, Quartär oder Diluvium stammen aus der Geologie. Hier werden die zeitlich aufeinander folgenden Gesteinsformationen in ihrer vertikalen Lage nach Gesteinsart und nach der Art der eingeschlossenen Fossilien voneinander unterschieden. Diese Schichten spiegeln erdgeschichtliche Zeitabschnitte wieder, die oftmals anstelle von Jahreszahlen verwendet werden. In der folgenden Übersetzungstabelle zwischen den geologischen Formationen und den zugehörigen erdgeschichtlichen Zeiten kennzeichnen alle Zahlenangaben den Beginn der jeweiligen Formation, und zwar in Jahrmillionen vor der Gegenwart. Diese Zahlen stellen gerundete Mittelwerte aus verschiedenen Quellen dar:

## Präkambrium als Zusammenfassung von

- Archaikum, auch Azoikum oder Alt-Präkambrium genannt (4600)
- Proterozoikum, auch Algonkium oder Neu-Präkambrium genannt (2600)

Der Name Azoikum zur Bezeichnung einer leblosen Formation ist inzwischen veraltet, da man auch hier älteste Organismen gefunden hat. Das erste der bekannten Eiszeitalter nennt man nicht mehr ganz folgerichtig das archaische, es fand nämlich erst im frühen Proterozoikum statt. Das zweite bekannte Eiszeitalter ist das so genannte algonkische. Im Neu-Präkambrium fanden noch zwei weitere Eiszeitalter statt, die man eokambrisch I und eokambrisch II nennt.

Die moderne Klimaforschung kann den bodennahen Temperaturverlauf etwa eine Milliarde Jahre in die Vergangenheit zurückverfolgen. In Abb. 4 findet man eine Auswahl derartiger Ergebnisse, gegliedert in fünf Zeitabschnitte. Bei Annäherung an die Gegenwart umfassen die Graphiken jeweils einen kürzeren Zeitraum und weisen damit eine höhere Genauigkeit auf.

## Paläozoikum als Zusammenfassung von

- Kambrium (580)
- Ordovizium (500)
- Silur (430)
- Devon (400)
- Karbon (350)
- Perm (280)

Im Kambrium entwickelten sich erste Fische, im Devon Landwirbeltiere. Ins Paläozoikum fallen das fünfte und das sechste bekannte Eiszeitalter. Entsprechend ihrer oben genannten Zeiten nennt man sie silur-ordovizisch bzw. perm-karbonisch.

## Mesozoikum als Zusammenfassung von

- Trias (225)
- Jura (190)
- Kreide (135)

Aus dem Mesozoikum sind keine Eiszeitalter bekannt. Es entwickelten sich kleine Säugetiere, Vögel und Blütenpflanzen. Das Mesozoikum war auch das Zeitalter der Dinosaurier.

## Känozoikum als Zusammenfassung von

- Tertiär (65), noch einmal unterteilt in Paläozän (65), Eozän (55), Oligozän (38), Miozän (25) und Pliozän (10)
- Quartär (2), noch einmal unterteilt in Pleistozän (2), auch Diluvium genannt, und Holozän (0.01) auch Alluvium genannt.

Im Tertiär entwickelten sich die großen Säugetiere, im Quartär der Mensch. Wie bereits oben erwähnt, begann das letzte bekannte Eiszeitalter vor zwei Millionen Jahren, also zu Beginn des Quartärs. Obwohl es noch heute anhält, also auch ins Holozän (Alluvium) hineinreicht, nennt man es wie erwähnt Pleistozäne Vereisung oder Diluvium-Eiszeitalter.

Zusammengenommen etablieren die sieben bekannten Eiszeitalter klimatologische Zeitskalen von mehreren hundert Millionen Jahren! – Während der Eiszeitalter kommt es zu häufigen Wechseln zwischen relativ kälteren und relativ wärmeren Perioden. Diese von den oben genannten Eiszeitaltern zu unterscheidenden Klimaschwankungen haben im Allgemeinen eine Zeitskala von einigen zehntausend Jahren. Man nennt diese Schwankungen Glaziale und Interglaziale, auch „Kaltzeiten“ und „Warmzeiten“. Der Begriff Eiszeit sorgt oft für Verwirrung, weil er von einigen Autoren als Synonym für die Eiszeitalter selbst, häufiger jedoch für die Glaziale (Kaltzeiten) während der Eiszeitalter verwendet wird. Die bekanntesten dieser Glaziale und Interglaziale des gegenwärtig anhaltenden Quartären Eiszeitalters sind:

| Glazial/Interglazial | Beginn |
|---|---|
| Günz-Eiszeit | vor 400.000 Jahren |
| Mindel-Eiszeit | vor 300.000 Jahren |
| Riß-Eiszeit | vor 180.000 Jahren |
| Eem-Warmzeit | vor 120.000 Jahren |
| Würm-Eiszeit | vor 70.000 Jahren |
| Neo-Warmzeit | vor 12.000 Jahren (auch Postglazial genannt) |

Tendenziell entstanden die Glaziale allmählich durch „langsame“ Abkühlung, während die Interglaziale tendenziell durch „plötzliche Erwärmung“ entstanden, d.h. die Schwankungen während des quartären Eiszeitalters geben ein „sägezahnähnliches“ Bild ab. Die Würm-Eiszeit als letztes Glazial umfasst die gute zweite Hälfte des Holozäns (Alluviums). Letzterer Abschnitt ist nahezu identisch mit der Epoche der menschlichen Kulturgeschichte. Während der Glaziale waren wegen der viel niedrigeren globalen Mitteltemperatur die heutigen Wüsten bewohnbar. Da während der Höhepunkte der Glaziale sehr viel Wasser „gebunden“ war, lag der Meeresspiegel etwa 130 m tiefer als heute, so dass während der Glaziale auch die Kontinentalschelfe bewohnbar waren. Umgekehrt hat der Meeresspiegel zwischen den Eiszeitaltern, also bei vollständiger Eisschmelze, noch etwa 60 m höher gelegen als heute.

Neben dem Wechsel zwischen Eiszeitaltern und Akryogenphasen sowie dem Wechsel zwischen Glazialen und Interglazialen gibt es weitere Klimaschwankungen mit noch einmal geringeren Amplituden und mit noch einmal kleineren Zeitskalen. Wir nennen sie säkulare Klimaschwankungen im weiteren Sinne, d.h. ihre Zeitskala liegt in der Größenordnung von etwas weniger als hundert Jahren bis einigen hundert Jahren. Hier nennt man die wärmeren Phasen oftmals Optima, und kältere Phasen Pessima. Diese Begriffe werden allerdings von einigen Autoren auch in einem weiteren Sinne verwendet, nämlich als skalenunabhängige Bezeichnung von irgendwelchen relativ wärmeren bzw. kälteren Klimaabschnitten. Ferner verwenden einige Autoren den Begriff säkular auch im engeren, wörtlichen Sinne für Zeitskalen von 100 Jahren. Für deutlich längere Zeitskalen werden dann Begriffe wie intersäkular oder supersäkular verwendet, und für Zeitskalen von deutlich weniger als 100 Jahren Begriffe wie intrasäkular oder subsäkular.

Im Folgenden richten wir unser Augenmerk auf die Klimageschichte der letzten 10.000 Jahre. Dieser Zeitraum ist einerseits gut dokumentiert und er hilft andererseits den heutigen Klimatrend zu deuten.

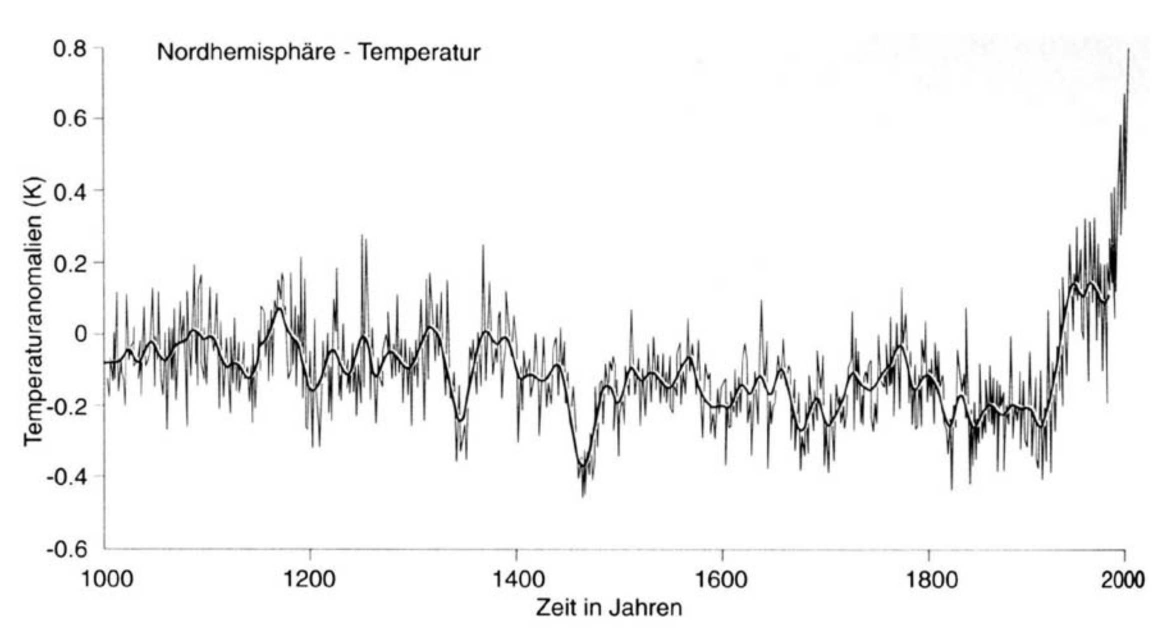



**Abb. 5**: Temperaturschwankungen während der letzten eintausend Jahre in der Nordhemisphäre, einschließlich geglättetem Kurvenverlauf. Seit etwa 1900 fällt ein deutlicher zu beobachtender positiver Trend auf.

## Klimaschwankungen im Holozän

Das Holozän folgt nach der letzten bedeutenden Vergletscherung – begann also vor rund 12.000 bis 10.000 Jahren – und endete bevor nennenswerte anthropogene Kräfte auf das Klima einwirkten. Es gibt zahlreiche Hinweise aus hochgelegenen Regionen, dass am Beginn des Holozän die Temperaturen im Allgemeinen eher (wieder) abnahmen. Beispielsweise ergaben Rekonstruktionen der Meeresoberflächentemperatur rund um Grönland und Norwegen, dass die Temperaturen vor etwa 9000 bis 4000 Jahren höher waren. In Mittelschweden wuchsen weit über der heutigen Baumgrenze vor etwa 9000 bis 2000 Jahren Bäume, und auf der Kola-Halbinsel wuchsen vor etwa 7600 bis 4000 Kalenderjahren etwa 20 Kilometer nördlich der heutigen polaren Vegetationsgrenze Kiefern. Auch im Großteil Sibiriens und des Mackenzie-Flussdeltas wuchsen im frühen Holozän (vor über 8000 Jahren) Bäume nördlich der heutigen Baumgrenze. Darüber hinaus gibt es im frühen Holozän zahlreiche Hinweise auf weit reichende eisfreie Gewässer in der Beaufort-See und um die kanadischen arktischen Inseln, was durch Funde zahlreicher Skelette von Buckelwalen und anderen Seesäugetieren, die zum Überleben eisfreie Bedingungen benötigen, belegt wird. Damals wurde Treibholz weit in die arktischen Fjorde getragen, die damals jahreszeitenabhängig eisfrei waren. Im späten Holozän verhinderte durchgehendes Eis auf dem Meer solche Treibholz-Bewegungen jedoch. Darüber hinaus bildeten sich während der letzten Jahrtausende des Holozäns entlang der Küste des Arktischen Ozeans auf Ellesmere Island am Land festhängende Eisbänke, die dort heute noch existieren.

Diese Abkühlung während des Holozäns war nicht auf große Höhen beschränkt. Die Baumgrenze in den Weißen Bergen in Ostkalifornien (37°18'N) lag von vor etwa 6000 Jahren bis etwa 2200 Jahren um 100 bis 150 Meter höher als heute. Nach dem Jahr 1000 nach Christus sank sie besonders stark. Zwar sollte man Vorsicht walten lassen, in solch trockenen Gegenden Baumgrenzen-Bewegungen zu interpretieren, dennoch bestärkt ein Großteil der Hinweise eine Temperatur-Abkühlung um 2 °C in den warmen Jahreszeiten.

Aufzeichnungen des Eiskern-Deuteriums aus der Antarktis deuten auch auf eine generelle Temperaturabnahme während des späten Holozäns hin, die wärmsten Bedingungen gab es in den ersten Jahrtausenden. Studien über den Deuterium-Überschuss in vier antarktischen Eiskernen zeigen einen Anstieg während des gesamten Holozän. Man nimmt an, dass dies mit den höheren Wasseroberflächentemperaturen in den Regionen des Niederschlagsursprungs zu tun hat, den Ozeanen niedriger geographischer Breite in der südlichen Hemisphäre.

In der nördlichen Hemisphäre wurde die Abkühlung im späten Holozän von der Ausbreitung von Gletschern (nach den Minima im frühen und mittleren Holozän) und der erneuten Bildung von Eisdecken begleitet. Wann diese Periode begann ist umstritten, aber es gibt zahlreiche Hinweise darauf, dass der Beginn dieser erneuten Vergletscherung vor etwa 4000 bis 5000 Jahren stattgefunden hat. Eine Serie von Schwankungen in der Eismenge im Gebirge auf der ganzen Welt hat die letzten paar tausend Jahre charakterisiert, aber die Schwankungen in den letzten Jahrhunderten waren im allgemeinen am deutlichsten, was die Strenge des Klimas in jenem Zeitraum deutlich macht. Der Oberbegriff Kleine Eiszeit wird verbreitet verwendet um diese Periode zu beschreiben, die wie allgemein angenommen zwischen etwa 1300 und 1880 stattgefunden hat, mit der bedeutendsten Phase nach 1550.

## Die Temperaturen während des letzten Jahrtausends

Die meisten Paläoklima-Aufzeichnungen mit hoher Auflösung (also jene mit jährlicher Datendichte und einem starken Klimasignal) gehen nur einige Jahrhunderte zurück. Daher gibt es zwar seit dem 17. Jahrhundert bis heute zahlreiche Rekonstruktionen des Paläoklimas, davor gibt es jedoch wenige Aufzeichnungen mit hoher Auflösung. Durchgehende Aufzeichnungen beschränken sich auf Eiskerne und schichtförmige Seesedimente, wo das Klimasignal oft nur schwach kalibriert wird, und auf einige Aufzeichnungen zu Jahresringen bei Bäumen, meist aus hohen Breiten. Das führt zwangsläufig zu großer Unsicherheit bei der langfristigen Klima-Rekonstruktion, die versucht eine globale oder hemisphärische Perspektive herzustellen. Wenn man diese Problematik bedenkt, was verraten die derzeitigen Rekonstruktionen uns nun über das letzte Jahrtausend?

Abb. 5 zeigt uns eine Rekonstruktion der durchschnittlichen Abweichung von der Jahresmitteltemperatur (Temperaturanomalie) aus der Klima-Normalperiode 1961-1990 in der Nördlichen Hemisphäre während der letzten 1.000 Jahre. Diese Darstellung basiert auf einem Netzwerk gut verteilter paläoklimatischer Aufzeichnungen. Je weiter man zurückgeht, desto weniger Aufzeichnungen gibt es. Für die Zeitspanne seit 1400 wurden 397 Aufzeichnungen verwendet, vor 1400 gab es jedoch nur 14 (davon sind 11 Einzelaufzeichnungen, und drei Teile von Baumringaufzeichnungen von Bäumen im Westen der Vereinigten Staaten). Man beachte den steigenden Trend des Temperaturverlaufes während der letzten einhundert Jahre.

## Unsicherheiten bei Temperatur-Rekonstruktionen im großen Rahmen

Alle Rekonstruktionen von Paläotemperaturen leiden unter einem Datenmangel in den niedrigen Breiten. Die meisten Rekonstruktionen von der nördlichen Hemisphäre enthalten überhaupt keine Daten von der südlichen Hälfte der Region (d.h. Gegenden südlich von 30° N). Darüber hinaus gibt es so wenig Datensätze von der südlichen Hemisphäre, dass es derzeit noch nicht möglich ist, sinnvolle „globale" Aufzeichnungen der Temperaturschwankungen über instrumentelle Aufzeichnungen hinaus zu rekonstruieren. Die statistischen Fehlerbandbreiten können durch die Verwendung zusätzlicher Daten, die deutlichere Temperatursignale verwenden (durch bessere räumliche Vertretung), verringert werden. Allerdings wird es immer zusätzliche Fehlerbandbreiten geben, die etwa mit der Konstanz der Platzhalter-Klimafunktion im Zeitablauf zu tun haben und damit, inwieweit moderne Klimamodi (also jene, die während des Kalibrierungsintervalls aufgetreten sind) das volle Ausmaß der Klimaschwankungen in der Vergangenheit repräsentieren. Es gibt Hinweise darauf, dass in den letzten Jahrzehnten einige Bäume auf hohen Breiten die langperiodischen Schwankungen nicht mehr so gut erfassen wie in den früheren Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts. Das erregt Besorgnis darüber, inwieweit das schon in der weiteren Vergangenheit der Fall gewesen sein könnte. Wenn dies ein Problem darstellte (und darüber gehen die Meinungen derzeit noch auseinander), könnte es zu ungenauer Repräsentation der langperiodischen Temperaturschwankungen in der Vergangenheit führen. Wenn frühere Klimabedingungen durch Schwankungsmodi charakterisiert wurden, die im Kalibrierungszeitraum nicht erkannt wurden, ist es unwahrscheinlich, dass die derzeit verwendeten Methoden diese Zeitspannen akkurat rekonstruieren würden.

## Die mittelalterliche Warmzeit und die kleine Eiszeit

Wenn man Unsicherheiten, die die Rekonstruktion von Paläotemperaturen umgeben, bedenkt, welche Beweise gibt es dann für eine Mittelalterliche Warmzeit und eine Kleine Eiszeit im vergangenen Jahrtausend?

Das ursprüngliche Argument für eine mittelalterliche Warmzeit basiert zum großen Teil auf Beweisen aus Westeuropa. Viele der zitierten Beweise beruhten auf Anekdoten, und man kann bei LAMB (1965) lesen, dass die Temperaturen zwischen 1000 und 1200 um etwa 1 bis 2 °C „über den heutigen Temperaturwerten" gelegen hätten (gemeint war damit das Mittel 1931-1960). HUGHES & DIAZ beschäftigten sich 1996 wieder mit dem Konzept einer mittelalterlichen Warmzeit und überprüften nochmals die Bandbreite der paläoklimatischen Daten, von denen viele aus der Zeit nach LAMBs „klassischer" Arbeit stammten. Sie zogen folgende Schlussfolgerung:

„Zu diesem Zeitpunkt ist es nicht möglich, von den hier gesammelten Beweisen auf etwas bedeutenderes zu schließen, als dass in einigen Gebieten der Erde zu manchen Jahreszeiten warme Wetterbedingungen vorgeherrscht haben könnten."

Also fanden sie keine deutlichen Hinweise darauf, dass es in der mittelalterlichen Warmzeit oder in einem weiteren Zeitintervall vom 9. bis zum frühen 15. Jahrhundert tatsächlich eine globale weit reichende Warmzeit gegeben hätte. Aufgrund eines Mangels an hoch auflösenden Aufzeichnungen aus jener Zeit (besonders von den Ozeanen und der südlichen Hemisphäre) können wir die Möglichkeit einer globalen weit reichenden Warmzeit (oder Warmzeiten) für zumindest Teile des Zeitintervalls 1000 bis 1200 aber nicht völlig ausschließen.

Hochauflösende Temperaturmessungen in Bohrlöchern auf der höchsten Stelle einer Eisschicht an einer Bohrstelle in Grönland deuten auf Bedingungen hin, die 0.5 °C bis 1 °C über der Durchschnittstemperatur am selben Ort um das Jahr 1000 lagen. Ähnliche Daten aus Law Dome in der Antarktis zeigen allerdings ein Temperaturminimum im Jahr 1250, gefolgt von wärmeren Bedingungen in darauf folgenden Jahrhunderten.

Baum-Jahresringdaten aus hohen Breiten aus Teilen der nördlichen Hemisphäre liefern ebenfalls Beweise, dass Temperaturen im Mittelalter, zumindest in den Sommermonaten, deutlich über dem Mittel im 20. Jahrhundert lagen. Darauf deuten auch Meeresspiegelaufzeichnungen aus dem Nordatlantik hin, allerdings kann der Zeitrahmen nicht genau festgelegt werden. Außerdem gibt es aus frühen europäischen Dokumentaraufzeichnungen deutliche Hinweise darauf, dass die Wintertemperaturen in Westeuropa zwischen 750 und 1300 zumindest teilweise recht mild waren. Andererseits zeichnen Baumringdaten aus der südlichen Hemisphäre ein anderes Bild – dort gibt es keine deutlichen Hinweise auf eine mittelalterliche Warmzeit, selbst wenn man sich bemüht, hundertjährige Schwankungen bei Messgeräten zu berücksichtigen. Folglich bleibt die Frage, ob es im Mittelalter wirklich weltweite warme Episoden gegeben hat und wie man diese mit dem Temperaturniveau im späten 20. Jahrhundert vergleichen kann (besonders jenem der letzten 20 Jahre des 20. Jahrhunderts), faszinierend und verdient weiter untersucht zu werden.

Möglicherweise ist es von größerer Bedeutung, dass es besonders während der mittelalterlichen Warmzeit definitiv bedeutende Niederschlags-Anomalien gab. In vielen Gegenden gab es Trockenperioden die sich lange hinzogen. Diese waren deutlicher ausgeprägt als alles, was seitdem es instrumentelle Aufzeichnungen gab aufgezeichnet wurde. Beispielsweise liefert STINE (1994) zwingende Beweise dafür, dass eine lang anhaltende Dürre von (spätestens) 910-1110 und von 1210-1350 große Teile der westlichen Vereinigten Staaten (besonders Ostkalifornien und das westliche Great Basin) betraf. So führte er das Argument an, dass ein besserer Begriff für die Mittelalterliche Warmzeit eigentlich Mittelalterliche Klima-Anomalie wäre, um so den Fokus von der Temperatur als beschreibenden Faktor zu verschieben. Die weite Verbreitung der hydrologischen Anomalien während der Mittelalterlichen Klima-Anomalie deutet darauf hin, dass Veränderungen in der Frequenz oder Hartnäckigkeit gewisser Zirkulationssysteme die ungewöhnlichen Bedingungen jener Zeit erklären könnten, und das könnte auch zu der ungewöhnlichen Wärme in manchen (aber nicht allen) Regionen geführt haben.

Zahlreiche Studien liefern deutliche Beweise dafür, dass die folgenden Jahrhunderte durch kühlere Bedingungen charakterisiert wurden. Für diese Zeit wird im Allgemeinen der Begriff Kleine Eiszeit verwendet. Da es in dieser Zeit der Abkühlung regionale Unterschiede gab, ist es schwierig, allgemeingültige Daten für Beginn und Ende dieser Periode festzulegen, aber im Allgemeinen wird der Zeitraum 1550-1880 angenommen. Allerdings gibt es auch Hinweise darauf, dass es früher schon kalte Episoden gab, und Gletschervorstöße waren bis zum 13. Jahrhundert in vielen alpinen Gegenden rund um den Nordatlantik und im westlichen Kanada keine Seltenheit. Das Problem der Definition wird verdeutlicht, wenn man bedenkt, dass die Temperaturen in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts nach und nach abnahmen, und es keinen plötzlichen Beginn einer Kleinen Eiszeit gab. Wenn diese Rekonstruktion genau ist, könnte das erklären, warum in unterschiedlichen Gebirgsregionen der Beginn dieser neoglazialen Periode zu verschiedenen Zeiten registriert wird. Während die Temperaturen sanken wurde die Schwellentemperatur für eine positive Massenbilanz und Gletschervorstöße in manchen Gegenden früher erreicht als in anderen, was zu vermeintlich heterogenen regionalen Reaktionen geführt hat. Allerdings wurden bis zum späten 16. Jahrhundert in fast allen Regionen Gletschervorstöße beobachtet. Diese Bedingungen hielten im Allgemeinen bis zum mittleren und späten 19. Jahrhundert an und machten den Begriff Kleine Eiszeit so allgegenwärtig und bedeutsam für jene Zeit. Dennoch gab es selbst im Zeitraum zwischen 1550 und 1850 sowohl zeitlich als auch räumlich große Temperaturschwankungen. In manchen Gegenden war es zu einer Zeit, wo es in anderen Gegenden kalt war warm und umgekehrt, und manche Jahreszeiten waren wohl relativ warm, während andere Jahreszeiten in derselben Gegend relativ kalt waren. Aber egal welches Datum man für den Beginn der Kleinen Eiszeit wählt, es gibt wenig Zweifel daran, dass sie definitiv zu Beginn des 20. Jahrhunderts geendet hat. Die Verringerung der Eismasse, die sich in den vergangenen Jahrhunderten angesammelt hat geht bis heute in fast allen Regionen der Welt weiter (und hat sich zuletzt sogar beschleunigt).

Zweifelsohne ist die Komplexität oder die Struktur, die wir im Klima der Kleinen Eiszeit sehen, auf den (relativen) Reichtum an Informationen, die es zum Paläoklima aus den Archiven für diesen Zeitraum gibt zurückzuführen. Dennoch war dieser Zeitraum wenn man langfristig zurückblickt ohne Zweifel einer der kältesten im gesamten Holozän. Wenn es für die gesamten letzten 1000 Jahre ähnliche Daten gäbe, müsste man die eher simplen Vorstellungen der mittelalterlichen Klimabedingungen sicher revidieren, und man sollte sich bemühen, einen umfassenden paläoklimatischen Blickwinkel

über diesen Zeitraum zu schaffen. Nur mit solchen Daten wird es möglich sein, die wahrscheinlichen Gründe für Klimaschwankungen im letzten Jahrtausend zu erklären.

## Die Bedeutung von Klimarekonstruktionen

Während der letzten 200 Jahre begannen Rekonstruktionen des Klimas in vielen Fachbereichen eine immer wichtigere Rolle zu spielen: Sie unterstützen beispielsweise die Geschichtswissenschaften, da viele historische Entwicklungen nicht losgelöst vom Wandel der natürlichen Umwelt verstanden werden können. Folgerichtig setzt sich in zunehmendem Maße die Umweltgeschichte als eigenständiger Forschungsbereich durch. Die Rekonstruktion früher Umwelten ist ein Verschneidungsbereich verschiedener Disziplinen, an dem unterschiedliche Forschergruppen fachübergreifend mitwirken. Im Zusammenwirken von Klimatologie und Geschichte liefert die historische Wissenschaft vielfältige Arbeitsmethoden, die der Datenerhebung und Darstellung auf klimatischer Ebene zugute kommen. Die inhaltliche Analyse und Interpretation sollte jedoch von Klimatologen geleistet werden.

Die zunehmende Bedeutung der Historischen Klimatologie hat sich auch in der Literatur niedergeschlagen, zum Beispiel in etablierten Reihen wie der Paläoklimaforschung. Auch in renommierten Fachzeitschriften wie „Climatic Change“ gibt es immer wieder einschlägige Themenhefte.

Es lässt sich nicht eindeutig bestimmen, wann die Forschungsrichtung „Historische Klimatologie“ begründet wurde. Bereits die antiken Naturbetrachtungen können als historisch-klimatologische Darstellungen gelten, beinhalten sie doch in vielen Fällen Sammlungen großer Naturereignisse mit entsprechenden klimatologischen Ausführungen. Immer wieder wurden Kompilationen erstellt, wobei die Intention von erbaulichen Schriften bis zu wissenschaftlichen Abhandlungen reichte. Vor allem in den großen historiographischen Kompilationen trugen Bearbeiter bemerkenswerte Klimaereignisse zusammen. Auch wenn sich die Mehrzahl der Veröffentlichungen auf wenig verwertbare Informationen beschränkt, soll nicht vergessen werden, dass beispielsweise in Frankreich bereits im 16. Jahrhundert die Veränderlichkeit des Klimas Gegenstand wissenschaftlicher Überlegungen war. Wissenschaftler wie Brice untersuchten Änderungen des Abflussverhaltens und auch der Wasserbilanz, wobei sich Gegner und Befürworter der aus dieser Diskussion hervorgegangenen „Austrocknungstheorien“ zum Teil erbittert gegenüberstanden. Der Kreis derer, die sich mit Klimaänderungen auseinander setzten, wuchs. Vor allem mit dem Aufkommen von Messinstrumenten waren die Voraussetzungen für weiterführende meteorologische Betrachtungen geschaffen.

Besonders reichhaltige Zusammenstellungen aus zum Teil zweifelhaften Quellen liegen seit dem 18. Jahrhundert vor. Oft waren es große Klimakatastrophen wie das Überschwemmungsdesaster vom Februar 1784, die Autoren veranlassten, historische Nachforschungen anzustellen: Starke Regenfälle nördlich der Alpen im Zusammenhang mit Schneeschmelze sowie den Effekten von Eisstau in vielen Flüssen Mitteleuropas wurden bereits als Ursachen erkannt. Überschwemmungen waren nicht mehr nur Gegenstand religiöser Deutung (Zornrute Gottes), sondern auch wissenschaftlicher Analysen. Die „Chronologische Geschichte der großen Wasserfluthen des Elbstroms seit tausend und mehr Jahren“ zählt nicht zuletzt deshalb zu den verwertbaren Publikationen. Überhaupt entwickelte sich die Hydrographie insgesamt zu einem besonders sammelfreudigen Zweig dieser Forschungsrichtung.

Wie weit die wissenschaftlichen Erklärungen schon damals gingen, zeigt sich in der Weltbeschreibung von BERGMANN (1769). Er führt unter anderen aus:

„Wenn einige Jahre nacheinander kalte Sommer einfallen, so geschiehet es, dass das Treibeis, welches sich an gewisse Küsten gesetzt hat, ungeschmolzen liegen bleibet… Auf solche Art werden Grönlands und James östliche Küsten, Frobishers Meerenge und mehrere Stellen in neuern Zeiten unzugänglich geworden seyn… Die höchsten Berggipfel sammeln gleichfals jährlich Eis und Schnee zusammen. Vor diesem war über die Bergkette Mont Maudit von Frankreich nach Piedmont ein Weg, aber er ist jetzt durch ein beständiges Eis von zwo Meilen lang, und eine halbe Meile breit, unbrauchbar. Es nimmt jährlich zu und gleichet den Eisbergen um den Polen, bis auf die blaue Farbe. Bey Grindelwald im Canton Bern, kommt der merkwürdige Gletscherberg vor… Diese Eisberge vergrößern sich viele Jahre, aber zuweilen werden sie auch ansehnlich verkleinert, als 1540 und 1719.“

Wenige Jahre später erschien von PILGRAM (1788) „Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen mit statistischen Analysen, Wirkungsaspekten und weiteren, durchaus inspirierenden Ansätzen“. Neben diesen wissenschaftlichen Publikationen lebte die Reihe illustrer Kompilationen fort. Unklare und verfremdete Quellenbezüge sowie immer wiederkehrende Abschriften und Neukompositionen älterer Werke kennzeichnen die meisten dieser Zusammenstellungen, die im folgenden Jahrhundert mit zum Teil kommerziellen Interessen auf

den Markt gebracht wurden. Um nur einige Beispiele zu nennen, sei auf die von CANTOR (1805) herausgegebene „Geschichte der merkwürdigsten Naturgegebenheiten auf unserer Erde seit Christi Geburt“ oder die Zusammenstellung „Ueber die strengen Winter“ von PFAFF (1809) sowie – mit einem größeren wissenschaftlichen Anspruch – auf die „Fünfhundertjährige Witterungsgeschichte“ von MÜLLER (1823) verwiesen. Diese Reihe ließe sich beliebig fortsetzen. Ihr heutiger Wert beruht vor allem darauf, dass mitunter Anhaltspunkte für die Quellenrecherche gegeben werden.

Erste nachhaltige wissenschaftliche Ansätze kamen in Europa mit der Begründung meteorologischer Gesellschaften bzw. mit der Einrichtung der amtlichen Meteorologie Mitte des 19. Jahrhunderts auf. Man war bemüht, die bis dato unter verschiedenen Gesichtspunkten gemessenen Datenreihen zusammenzuführen. In einigen Fällen wurden die Materialsammlungen auch auf nichtinstrumentelle Klimainformationen erweitert. Um nur ein Beispiel zu nennen, sei die „Allgemeine Länder- und Völkerkunde“ von BERGHAUS (1837) erwähnt, in der er sich der Frage widmet, „ob die Temperatur der Luft seit den historischen Zeiten Veränderungen erlitten habe oder nicht.“ Ein weiteres Beispiel für die Sammelleidenschaft dieser Zeit sind die Arbeiten von HELLMANN (1883). Sein „Repertorium zur Meteorologie“ ist bis heute eine einzigartige Suchhilfe für den deutschsprachigen Raum, wenn auch durch Kriegsverluste oft beträchtliche Lücken aufgetreten sind. POLLUGE (1881) verfasste einen der ersten deutschsprachigen Aufsätze „Klimaänderungen in historischen Zeiten“, der die historische Dimension explizit erwähnt. Abnehmende Pegelstände und sinkende Grundwasserspiegel interpretiert er als Reaktion auf die Kulturtätigkeit des Menschen, wobei er insbesondere auf die Entwaldung und den dadurch implizierten Klimawandel eingeht.

Einen neuen Impuls erfuhr das „historische“ Bewusstsein in der Klimatologie durch die umfassenden Kompilationen, die zu Anfang des letzten Jahrhunderts von Autoren wie HENNING (1904) veröffentlicht wurden. Sicherlich standen diese Ansätze zunächst im Schatten der neuen Erkenntnisse auf dem Gebiet Paläoklimatologie mit dem innovativen Konzept der Eiszeiten durch PENCK & BRÜCKNER (1901-1909).

Durch die Komplikationen zu Anfang des Jahrhunderts, die wegen der unkritischen Verwendung von Quellen zu Recht in der Kritik stehen, wurde trotzdem eine Leitlinie in der Historischen Klimatologie geschaffen, die auch heute eine große Rolle spielt: die Sammlung und Publikation von Daten- und Datenquellmaterial. Die Notwendigkeit der Quellenkritik wurde schnell erkannt. So legte NORLIND (1914) eine Arbeit über „Das Klima in historischer Zeit“ vor, in der bereits eine quellenkritische Diskussion geführt wird. Auch weiterführende methodologische Gedanken und Zeitströmungen wurden von diesem Autor aufgegriffen. Beispielsweise setzt er sich mit Aspekten der „modernen Erdkunde“ in seiner Zeit auseinander und wechselt im vorgelegten Beitrag von der traditionellen „beschreibenden“ zur neuen „erklärenden Methode“, was sich darin äußert, dass erste großräumige witterungsklimatische Interpretationen zu historischen Klimasituationen angestellt werden. Die schon in der Frühphase begründete Arbeitsrichtung umfassender Text- und Zitatsammlungen historischer Witterungsangaben setzt sich bis heute fort, wobei die Arbeiten von WEIKINN (1968-1973) oder die wertenden Datensammlungen von ALEXANDRE (1987) inzwischen zu viel zitierten Standardwerken wurden. Den Wert und die Bedeutung derartiger Sammlungen und biographischer Zusammenstellungen kann wahrscheinlich nur derjenige erahnen, der selbst in akribischer Kleinarbeit Archive durchforstet hat. Archivarbeit muss als elementare Grundlagenforschung gewertet werden. Ihre Handhabung wurde durch den Einsatz von EDV und Datenbanken vereinfacht.

Bereits NORLIND (1914), vor allem aber EASTION (1928) bemühten sich, in ihren Ausführungen über reine Textsammlungen hinaus zu gehen. Sie begannen, die Beschreibungen in Werte, so genannte Indizes, umzusetzen und in Zeitreihen zusammenzustellen. Damit lösten sie sich von der deskriptiven Betrachtung und begründeten die quantitative Analyse, deren Grundprinzipien noch heute Gültigkeit haben. Bis in die Gegenwart zählt es zu den ambitionierten Zielen, lange Indexreihen abzuleiten und diese zu quantifizieren.

Der Versuch, quantitative historische Klimaaussagen treffen zu können, führte schließlich zur Auseinandersetzung mit den so genannten Proxydaten. Man trifft dabei auf ein breites Spektrum, das von der Analyse von Ertragsdaten bis hin zur Auswertung von Dendro-Reihen reicht. Der Wert derartiger Daten beruht auf der nahezu flächenhaften Verfügbarkeit, der vergleichsweise einfachen Akquisition und vor allem auf den weiterführenden statistischen Möglichkeiten, da ein Großteil dieser Daten in metrischen Einheiten zu fassen ist. Gerade die letzte Eigenschaft führte dazu, dass zum Teil komplexe statistische Verfahren verwendet wurden. Breite Beachtung schenkte man stets den ökologischen Parametern (LAUER & FRANKENBERG 1986). Eine lange Forschungstradition findet sich auch in dem Bereich der Baumringanalysen (SCHWEINGRUBER 1993 oder BRIFFA et al. 1999). Auch andere Aufgaben wie Hochwassermarken oder Vereisungsangaben wurden immer wieder für historische Untersuchungen herangezogen (CAMUFFO 1987, CATCHPOLE 1992).

Neue methodische Impulse vermittelten die von LAMB seit Mitte der 60er-Jahre verfolgten Forschungsarbeiten. Neben einer Weiterführung der Indexbildungen beruht die wesentliche Novität auf der synoptischen Interpretation. Diesem Aspekt kommt in neuerer Zeit besonders Augenmerk zu (JACOBEIT et al. 1999). Synoptische Betrachtungen lassen sich erst auf der Grundlage räumlich übergreifender Datensätze realisieren.

Schon mit Le Roy LADURIE (1983) begann eine Phase zusammenschauender Arbeitsweisen, in der nicht nur das Klima selbst, sondern auch die Folgewirkungen und Rückkopplungen auf Umwelt und Gesellschaft in die Analysen mit einbezogen wurden. Durch die Integration von Proxydaten kam es zu einer ständigen Ausweitung der methodischen Ansätze, da ohne Kenntnis der vielfältigen Einflussfaktoren eine Interpretation nicht mehr möglich war. Neben den erwähnten Arbeiten waren es Untersuchungen von PARRY (1978) über die Auswirkungen der Kleinen Eiszeit auf Umwelt und Gesellschaft im westlichen Norwegen und vor allem zwei unter dem gleichen Titel und im gleichen Jahr erschienene Bände von WIGLEY et al. (1981) sowie ROTBERG & RAPP (1981), mit denen der bisherige Forschungsstand umfassend beschrieben wurde. Auch die Arbeiten von PFISTER (1985) können als Beispiel gesamtheitlicher, systemorientierter Ansätze gelten. Gleichzeitig sind nicht zuletzt durch die entsprechenden Vorschläge von geographischer Seite Tendenzen zu einer regionalen Betrachtung erkennbar.

In diesen Ansätzen wurden nach und nach auch die historischen Instrumentenmessungen einbezogen. Ihre Kalibrierung und Quantifizierung stellt den wesentlichen Brückenschlag zur modernen Klimabetrachtung dar. Anfänglich waren es meist thermische Anomalien, die summarisch aufgelistet und miteinander verglichen wurden, wie bei GAUTIERS (1911) „Hivers chauds, années très humides et très sèches". Als besonders ergiebig zeigten sich jedoch die langen kontinuierlichen Reihen. Die von MANLEY (1974) für Zentralengland rekonstruierte Instrumentenmessreihe hat beispielhaft das Vorstellungsbild der Kleinen Eiszeit geprägt. Keine Messreihe wurde öfter zitiert und für Kalibrierungen herangezogen, mit dem Effekt, dass sich zum Teil unsinnige Fernkorrelationen ergaben. Bereits 1967 hatte RUDLOFF die damals bekannten langen europäischen Reihen zusammengefasst. Sein Werk über „Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumentenbeobachtungen (1670)" zählt unzweifelhaft zu den Klassikern. Zwischenzeitlich liegt eine fast unüberschaubare Zahl von Arbeiten zu diesem Themenkreis vor (u.a. DEMAREE et al. 1994). Historische Instrumentenmessdaten bildeten auch die Grundlage der von KINGTON 1988 ausgearbeiteten historischen Klimakarten.

**Tab. 2**: Klimaabschnitte nach der bislang letzten Eiszeit.

| Name (Optimum/ Pessimum) | Beginn | Bemerkung |
|---|---|---|
| Ältere Dryas (P) | -16000 | Rückfall im späten Würm-Glazial |
| Alleröd (O) | -12000 | Ankündigung des endgültigen Glazial-Endes |
| Jüngere Dryas (P) | -9000 | Letzter Temperatur – Rückfall („Tundrenzeit") |
| Präboreal (P) | -7500 | Erste Unterbrechung der Erwärmungsphase |
| Boreal (P) | -6500 | Zweite Unterbrechung der Erwärmungsphase |
| Atlantikum (O) | -6000 | Sehr lang anhaltende, schwankende Warmperiode, umfasst auch das „Hauptoptimum" (-4500, wärmste Epoche der Neo-Warmzeit, Sesshaftwerden des Menschen, Beginn der historischen Zeit bis zu den ersten Hochkulturen in Ägypten, Mesopotamien, Asien) |
| Piora-Oszillation (P) | -2500 | Allmählicher Temperaturrückgang („Sägezahn"), Erste indogermanische Völkerwanderung |
| O. (unbenannt) | -1400 | Neues Reich der Ägypter |
| Hauptpessimum (P) | -500 | Kälteste Klimaepoche der Neo-Warmzeit gegen Ende einer allmählichen Abkühlung ab -1000. Zweite indogermanische Völkerwanderung |
| O. der Römerzeit | -220 | Ermöglichte Hannibals Alpenüberquerung |
| Frühmittelalterliches P. | 450 | Germanische Völkerwanderung |
| Hochmittelalterliches O. | 850 | Normannische Seefahrten im Nordatlantik, Grönland = „Grünes Land" |
| „Klimawende" | 1250 | |
| Kleine Eiszeit (P) | 1600 | Dreißigjähriger Krieg |
| Modernes O. | 1900 + ? | Anthropogen beeinflusst |

Einen neuen Impuls erfuhr diese Forschungsrichtung durch die Kopplung historischer Erkenntnisse mit zirkulationsdynamischen Modellansätzen. Herausragendes Ergebnis solcher Untersuchungen sind rekonstruierte monatliche und teilweise tägliche Bodenluftdruckkarten.

Zieht man eine Bilanz, dann kann der heutige Stand der Historischen Klimatologie als eine Summation der diskutierten Strömungen beschrieben werden. Neuere Sammelbände, wie die von BRADLEY & JONES (1992) oder OBREBSKA et al. (1996), vermitteln einen Eindruck von der methodischen Vielfalt und inhaltlichen Tiefe. Viele Leitlinien wurden früh begründet und ihrem Wesensgehalt nach beibehalten, wenn auch mit ständig verbesserten Verfahren und zahlreichen Neuerungen. Spätestens seit der Weltklimakonferenz 1979 und dem daraus hervorgegangenen Weltklimaprogramm mit seiner ausdrücklichen Betonung der Historischen Klimaanalyse war auch die Akzeptanz gegeben. Schließlich mündet die immer wieder aufkeimende Diskussion um die Wertigkeit dieser Forschungsrichtung in der Frage nach der Übertragbarkeit der historischen Klimaaussagen („Kann die klimatische Vergangenheit ein Modell für die Zukunft sein?") und der Bewertung dieser Erkenntnisse als Grundlage für Modellierungen.

Die jüngsten säkularen Schwankungen (im weitesten Sinne) während der seit 12.000 Jahren anhaltenden Neo-Warmzeit sind das Optimum der Römerzeit, das Pessimum des Frühmittelalters, das Optimum des Hochmittelalters, die „Klimawende" des Spätmittelalters als Übergang zum Pessimum im 17. Jahrhundert, auch Kleine Eiszeit genannt sowie das gegenwärtige Moderne Optimum, das etwa ab 1900 eingeleitet wurde.

Die wichtigsten säkularen Klimaphasen vor der Zeitwende sind die folgenden (gerundet aus verschiedenen Quellen): Vor etwa 2500 Jahren, also „unmittelbar" vor dem Optimum der Römerzeit, gab es das Hauptpessimum, so genannt weil es die kälteste Klimaepoche seit dem Ende des Würm-Glazials darstellt. Dieses Kältemaximum entwickelte sich quasi-kontinuierlich aus einem Optimum vor etwa 3400 Jahren, in dem sich das neue Reich der Ägypter entwickelte. Ebenso, wie sich das Optimum der Römerzeit nach einem langsamen Temperaturabfall relativ schnell einstellte, hat sich das eben angesprochene „Optimum der Ägypterzeit" relativ schnell aus einem Pessimum entwickelt, welches den Höhepunkt der ebenfalls sägezahnartig abfallenden Plora-Oszillation bildet, auch Subboreal genannt. (Sägezahnartige Schwankungsstrukturen findet man auch in der viel größeren Skala der Glaziale und Interglaziale, s.o.).

Der subboreale Temperaturabfall begann vor etwa 5000 Jahren, ausgehend von einem sehr lang anhaltenden Optimum, genannt Atlantikum, welches vor etwa 8000 Jahren begann, und welches auch vor etwa 6500 Jahren die wärmste Epoche seit dem Glazial umfasst und daher Hauptoptimum genannt wird.

Das ausgehende Atlantikum mit dem sich anschließenden nur langsamen subborealen Temperaturabfall markiert die Zeit der ersten Hochkulturen in Ägypten, Mesopotamien, Indien und China und damit den Beginn der historisch belegten Zeit der menschlichen Kulturgeschichte. Wie auch schon vorher angedeutet, gibt es einen großen Einfluss der postglazialen Optima und Pessima auf die Weltgeschichte. So gab es oftmals während der Pessima Völkerwanderungen, und die Optima begünstigten das Sesshaftwerden der Völker.

Das Holozän ist klimatologisch geprägt von den späteren (wärmeren) Abschnitten einer Übergangsphase zwischen Würm-Glazial und Neo-Warmzeit. Diese Erwärmungsphase wurde selbst wieder durch Pessima unterbrochen und gewann neue Antriebe durch Optima. Dies geht auch aus der tabellarischen Gesamt-Zusammenfassung hervor (Tab. 2).

Das Moderne Optimum weist in den letzten 100 Jahren einen globalen Anstieg der Mitteltemperatur um ca. 0,6 °C auf. Der Unterschied zum Temperaturminimum der Kleinen Eiszeit beträgt etwas mehr als einen °C. Die sonstigen Optima und Pessima während der Neo-Warmzeit unterscheiden sich um höchstens 2 °C. Der Unterschied zwischen den Optima der Neo-Warmzeit und den niedrigsten Temperaturwerten der Würm-Eiszeit beträgt etwa sechs °C. Das ist auch die Größenordnung der Schwankungsamplituden aller Glaziale und Interglaziale des quartären Eiszeitalters. Die Größenordnung der Schwankungsamplituden zwischen den Eiszeitaltern und den jeweils mehrere hundert Millionen Jahren andauernden völlig eisfreien Perioden betragen vermutlich mehr als 10 °C.

Neben den bisher besprochenen eiszeitalterlichen, glazialen und säkularen Schwankungen gibt es noch mannigfache kürzere, subsäkulare Klimaschwankungen.

Wir richten nun unseren Blick im Detail auf Mitteleuropa:

## 1000-1899

Das mitteleuropäische Klima des zu Ende gehenden ersten Jahrtausends kann in drei Hauptabschnitte unterteilt werden. Zu Beginn des Millenniums herrschte zunächst eine von etwa 800 vor Christus her andauernde wärmere Phase, die oft als das mittelalterliche Optimum bezeichnet wird (9. bis 12. Jahrhundert). Die Alpengletscher waren ähnlich klein, evt. noch etwas kleiner als heute.

Ab dem 13. Jahrhundert kam es zu einer Abkühlung, die bereits zu einzelnen Gletschervorstößen führte (Übergossene Alm am Hochkönig). Zur vollen Entwicklung kam die zweite Hauptphase des Millenniums, die Kleine Eiszeit, mit dem markanten Temperatursturz in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts. Gleichzeitig ansteigende Sommerniederschläge ließen die Alpengletscher stark vorstoßen. Die Gletscherzungen erreichten dabei Gebiete, die seit dem Ende der letzten Eiszeit nicht mehr überschritten worden waren. Im 17., 18. und der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam es zwar auch zu kürzeren wärmeren Phasen, insgesamt jedoch sorgten die meist höheren Niederschläge dafür, dass sich die Gletscher während der gesamten Kernphase der kleinen Eiszeit nur wenig von dem Maximalstand um 1600 zurückzogen. Über eine dieser kürzeren Phasen mit höheren (Sommer-) Temperaturen um 1800 sind wir in Österreich bereits durch direkte Messreihen informiert. Die längste österreichische Temperaturreihe (Stift Kremsmünster) reicht bis 1767 zurück. Alle weiter zurückreichenden Zeiten sind nur durch indirekte Klimadaten abgedeckt, wie Gletscherstände, Baumringanalysen und historische Quellen. Die Sommertemperaturen lagen um 1800 etwa auf dem hohen Niveau der beiden letzten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts, die Winter wa-

ren damals allerdings deutlich kälter als heute. Das Zusammentreffen von Temperaturrückgang und Niederschlagsanstieg sorgte in den folgenden Dezennien vor 1850 zum letzten großen Gletschervorstoß der kleinen Eiszeit, der in Österreich wieder etwa bis zu den Endmoränen des 1600er Vorstoßes führte. Heute noch erkennen wir bei alpinen Wanderungen die markante Vegetationsgrenze, die auch noch nach 150 Jahren den Gletscherhochstand um 1850 markiert. Die schüttere bis gar nicht vorhandene Vegetation innerhalb der 1850er-Moränen zeigt, wie lange es dauert, bis sich im Hochgebirgsklima die durch einen Gletschervorstoß vernichtete Vegetationsdecke wieder erholt.

Nach 1850 kündigt ein erster Schub an Sommerwärme und Trockenheit das Ende der Kleinen Eiszeit und den Übergang zum aktuellen Warmklima des 20. Jahrhunderts an. Die Gletscher gehen 20 bis 30 Jahre hindurch rasch zurück und lassen einen Saum von Endmoränen zurück, der ihren Maximalstand anzeigt. Zweimal noch meldet sich kurzzeitig die Kleine Eiszeit zurück mit den strengen Wintern um 1890 und den sehr kühlen Sommern der 1910er Jahre, bevor die Erwärmung des 20. Jahrhunderts voll einsetzte. Unterbrochen durch geringfügige Gletschervorstöße in den Jahren vor 1920 und 1980 zogen sich die Gletscher stark zurück und bewegen sich in Richtung des Minimalstandes zu Beginn des Millenniums, zur Zeit des mittelalterlichen Klimaoptimums.

Leider gibt es etwa vor dem Jahr 700 keine durchgehenden Aufzeichnungen über klimatische Verhältnisse. Allerdings finden sich in Chroniken und historischen Aufzeichnungen immer wieder Hinweise auf Temperatur- und Witterungsverhältnisse der damaligen Zeit. Grundsätzlich liegt nach LAUSCHER (1980) die Schlussfolgerung nahe, dass es „Naturkatastrophen schon immer gab und dass wir uns glücklich schätzen sollten, in einer relativ warmen Klimaperiode zu leben. Im Klima ist wohl der Wechsel das einzig beständige…".

Einzelne Beispiele aus der Vergangenheit erhärten diese These. So gab es im Jahr 763/764 im Österreich einen besonders kalten und schneereichen Winter mit bis zu 10 Meter Schnee. In regelmäßigen Abständen kam es immer wieder zu solchen extremen Wintern, deren Folge auch Ernte- und Vegetationsschäden waren.

Im Jahr 1135 wird erstmals über große Sommerhitze berichtet.

Oberösterreichspezifische Daten sind leider rar, aber es gibt doch immer wieder aufschlussreiche Aufzeichnungen. Im Folgenden eine kurze Übersicht:

Vom Traunsee wurden im Jahr 1624, 1684, 1830, 1890 und 1963 Eisdecken gemeldet, besondere Hochstände aus 1594, 1598, 1705, 1787, 1821, 1848, 1862, 1880, 1897, 1899, 1920, 1959 und 1977. Vom Hechtsee wird berichtet, dass das Erdbeben in Lissabon vom 1. November 1755 beträchtliche Seespiegelschwankungen verursachte.

Zur vereinfachten Darstellung werden Abkürzungen verwendet: K bedeutet große Kälte, S = viel Schnee, Fg = Flüsse gefroren, H = Hitze, D = Dürre, Hu = Hungersnot, Veg = Vegetationsschäden, Ft = Flüsse fast ausgetrocknet.

| **Wilhering, Oberösterreich** | | |
|---|---|---|
| 1340 | | Heuschrecken |
| 1342 | 22.7. | Hochwasser |
| 1348 | 25.1. | schweres Erdbeben |
| | 2.11. | Erdbeben |
| 1349 | | Pest |
| 1356 | 18.10. | Erdbeben |
| **Moosbach, Oberösterreich** | | |
| 1412 | 25.-27.11. | Schwerer Sturm |
| 1473 | | D, aber gute Ernte |
| 1474 | 29.6. | Schwerer Sturm |
| 1480/81 | 25.12.-25.3. | K |
| 1501 | 15.8. | Großes Hochwasser |
| 1505 | 16.11. | Schwerer Sturm |
| 1506 | 7.3. | Schwerer Sturm |
| 1508/09 | | Große Trockenheit |
| 1511 | 26.3. | Erdbeben |
| 1515 | ab 13.7. | Hochwasser |
| 1516 | | Frühe Ernte |
| **Wels, Oberösterreich** | | |
| 1491 | | D stark |
| 1499 | | Guter Wein |
| 1501 | | Hochwasser, Veg |
| 1503 | | D, Fr |
| 1507 | 6.7. | Schwerstes Hagelwetter, Eisbrocken bis 2 1/2 kg |
| 1512/13 | | K stark, Fg, auch Grundwasserquellen |
| 1514 | | D stark, Missernte |
| 1511 | | große Regenfälle |
| **Linz, Oberösterreich** | | |
| 1492 | 16.6. | Sturm |
| | 25.6. | Schwerer Sturm |
| | 26.6. | Unwetter, Hagel „eigroß" |
| | 5.7. | Großes Unwetter mit Sturm |
| **Machland, Oberösterreich** | | |
| 1540 | | sehr schlechte Ernte, auch 1545, 1566, 1590, 1614, 1625, 1626 |
| 1548 | | Hochwasser im Frühjahr |
| 1549 | | viel Schnee und Regen |
| 1560 | | Hagel, Veg |
| 1566 | | Hagel, Veg |
| 1584 | | zweimal Hagel |
| 1590 | | S, H, Erdbeben |
| 1593 | | Hagel, auch 1603 und 1614 |
| 1626 | | K, auch 1643 |
| **Steyr, Oberösterreich** | | |
| 1567 | 29.-30.7. | Hochwasser, auch schon 1538 und 1539 |
| 1570 | | Hu |
| 1572 | Juli | Hochwasser |
| 1586/87 | 23.10.-Feb. | K stark |
| 1590 | Juni | Erdbeben, im Sommer H, D |
| 1598 | 16.-25.8. | Hochwasser |

| | | |
|---|---|---|
| 1599 | Jänner | bei Starkregen in Salzburg Domdach eingestürzt, gutes Weinjahr |
| 1601 | | wenig Wein, auch 1602 |
| 1605 | Juli | Hochwasser |
| 1606/07 | | K, S 25.12.-vor Ostern, Ft, Bäume brechen zusammen |
| 1614/15 | | K stark und lang, Missernte, |
| | 14.2.1615 | Erdbeben |
| 1616 | | H, D |
| **Linz, Oberösterreich** | | |
| 1589 | 4.-8.7. | Dauerregen |
| | 29.6. | großes Erdbeben |
| 1590 | 15.9. | fünf starke Erdbeben |
| 1593 | 11.7. | Sturm |
| | 12.7. | faustgroßer Hagel |
| 1594 | 8.7. | Gewitter mit Blitzschäden |
| 1595 | 25.6. | schwerer Sturm, viele Schäden, Veg. |
| 1598 | 14.-25.8. | Dauerregen, Hochwasser |
| 1603 | 1.12. | schon Erdbeeren reif |
| 1604 | 16.1. | Unwetter, Hagel |
| **Steyr, Oberösterreich** | | |
| 1603 | | K im Jänner, dann mild |
| 1603/04 | | K, S, Frühwinter, am 24.2. Sturm |
| | 13.5., 6.7. | Hochwasser |
| 1605 | | K im Jänner |
| | 6.-12.7. | Dauerregen, Hochwasser |
| 1606 | | K Jänner-März |
| | 27.7. | Hochwasser, bei großer Kälte Heizen wie im Winter, aber im Dezember warm wie im Juni. |
| 1607 | 25.-31.3. | K, S, Eis, Bäume brechen zusammen, trotzdem am |
| | 7.4. | Baumblüte, aber wieder Reif |
| | am 13.4. | kalt und windig, im Juli H, am |
| | 27.7. | Unwetter, Sturm mit großen Schäden, auch in Bayern und Böhmen |
| | August | Hochwasser |
| 1608 | | K Jänner bis März |
| 1609 | | Missernte |
| 1610 | Jänner | Hochwasser |
| | 23.1. | Sturm mit Schäden, K Februar bis März |
| | 7.8. | Hochwasser |
| 1611 | 10.1. | Hochwasser, April Frostschäden, H im Juli, Missernte |
| | 3. August | Hagel „eigroß“. |
| 1611/12 | | K Ende Dezember bis März, weiterhin Jahr kalt. |
| 1613 | | Winter warm, aber im März K, |
| | 11.11. | Sturm |
| 1614 | | K, S Jänner bis März |
| 1615 | | K Jänner und Februar |
| | 20.2. | Erdbeben |
| | 23.2. | Sturmschäden |
| | 16.3., | Reif Veg., Sommer H. |
| 1616 | | Wechselwetter, gute Ernte |
| 1617 | | wenig Schnee, erst am 22.4. |
| 1618 | | K, Fg Jänner und Februar, S Ende April, Veg. |
| 1619 | Jänner | Hochwasser dann Wechselwetter, K 5. bis 6.5., auch 23.5., Veg. |
| 1620 | 16.5. | Reif |
| | 18.5. | „Schwefelregen“, K 5.-6.5., auch 23.5., Veg |
| 1621 | | Wechselwetter, Fg |
| | 12.9. | Nordlicht |
| 1621/22 | | K Dezember bis Februar, Fg. auch Rhein |
| | Ende Feb. | Hochwasser |
| 1623 | | K, S bis Mitte April |
| 1626 | 18.9. | Sturm |
| 1627 | 10.9. | Hochwasser |
| 1629 | 23.4. | S, Veg |
| 1630 | | viel Wein |
| 1634/35 | | K |
| **Linz, Oberösterreich** | | |
| 1693-95 | | Missernten, auch 1699, Sommer 1693 verregnet |
| 1900-1999 | Die Jahresmittel der Lufttemperatur lagen in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts eher unter dem Durchschnitt. Erst 1934 bis 1939 war es einige Jahre lang deutlich wärmer als zuvor, unmittelbar darauf folgte aber das extrem kühle Jahr 1940. Mitte der Vierzigerjahre begann wieder eine mehrjährige warme Periode, danach eine Abkühlung mit dem Tiefpunkt 1956. Von den späten Fünfzigerjahren bis Mitte der Achtziger wechselten einander kältere und wärmere Jahre ab wie gewohnt, wenn auch auf etwas höherem Niveau als 50 Jahre zuvor. Gegen Ende des Jahrhunderts setzte dann die heute vieldiskutierte Erwärmung ein. | |

Die Differenz zwischen den höchsten und tiefsten Jahresmitteln beträgt drei bis fünf °C. Wärmstes Jahr war verbreitet 1994, das an vielen Orten den wärmsten Sommer dieser hundert Jahre aufwies und auch in den übrigen Jahreszeiten sehr mild war. Demgegenüber steht als kältestes Jahr 1940, in dem ein sehr strenger Kriegswinter und ein sehr kühler Sommer zusammenkamen.

Der einfacheren Berechnung wegen werden in der Klimatologie die Jahreszeiten aus kompletten Monaten errechnet (Frühling sind die Monate März bis Mai usw...). Die jeweils wärmsten und kältesten Jahreszeiten fallen nur teilweise österreichweit in ein und dasselbe Jahr. So wurde der kühlste Sommer verbreitet im Jahr 1913 festgestellt, ein Jahr zuvor war allgemein der kälteste Herbst verzeichnet worden. Je nach Region waren die Winter 1928/29, 1939/40 oder 1962/63 die kältesten. Frösteln in einem besonders kalten Frühling mussten unsere Vorfahren im Norden und Osten Österreichs schon im Jahr 1900, die West- und Südösterreicher erlebten den kältesten Frühling 1970. Die wärmsten Jahreszeiten fallen keineswegs nur in die „treibhausverdächtigen“ Neunzigerjahre. Zwar brachte der Winter 1997/98 verbreitet die höchsten Mitteltemperaturen, in Oberösterreich war aber der Winter 1915/16 der wärmste. (Etwa dasselbe Spitzenniveau erreichte der Winter 2006/07.) Die mildesten Frühlinge (1920, 1934 und 1946) lagen durchwegs in der ersten Hälfte des Jahrhunderts. Verbreitet erfreuten wir uns 1992 oder 1994 an den wärmsten Sommern, außer im Süden, wo der Sommer 1952 noch etwas wärmer gewesen war. Und der wärmste Herbst wurde meist 1961, 1982 oder 1987 beobachtet. Der höchste Einzelwert der Temperatur wurde am 27.7.1983 in Dellach im Drautal mit 39.7 °C gemessen, der tiefste am 11.2.1929 in Zwettl mit minus 36.6

°C. Der Februar 1929 brachte noch zahlreichen Orten in Niederösterreich von Laa a.d. Thaya über Orth a.d. Donau bis Wr. Neustadt Temperaturen unter minus 30 °C. Vereinzelt (Tamsweg, St. Paul im Lavanttal, Reutte) wurden derartige Werte damals auch in anderen Bundesländern gemessen. Noch kälter war es nur im arktischen Klima des Sonnblicks: dort las der Wetterwart am 1.1.1905 minus 37.2 °C ab. Temperaturen von 39 °C oder knapp darüber traten in diesen hundert Jahren mehrmals auf: 1950 in Andau und Leibnitz, 1957 in Enns, Horn und St. Pölten sowie 1992 in Mistelbach. Damals wurden 39.0 °C am 29. August, also ungewöhnlich spät im Jahr, gemessen.

Die Entwicklung der Niederschlagsmengen in den jüngsten hundert Jahren kann nicht anhand weniger Stationen gültig für ganz Österreich beschrieben werden, weil selbst auf geringe Entfernung schon ganz unterschiedliche Trends feststellbar sind. Dennoch werden auch hier die Messdaten der bereits zuvor verwendeten Orte angeführt.

Insgesamt weisen Wien-Hohe Warte und Klagenfurt einen fallenden Trend auf, in Kremsmünster dagegen steigt er. In Innsbruck verläuft der Trend nahezu gleichbleibend. Gemeinsam ist den hier betrachteten vier Messorten ein Niederschlagsmaximum um 1910-1915. Danach entwickelten sich die Niederschlagsmengen aber sehr unterschiedlich. In Wien-Hohe Warte zeigt sich ein beinahe stetiger Rückgang, nur in den Vierzigerjahren kurz unterbrochen, bis Mitte der Achtziger. Klagenfurt weist eine Unterbrechung des fallenden Trends von etwa 1950-1970 auf, während in Innsbruck nur der deutliche Anstieg von den Vierziger- zu den Fünfzigerjahren auffällt. In Kremsmünster wurde der generelle Anstieg jeweils in den Dreißigern und Siebzigern durch Rückgänge unterbrochen. In den letzten zehn bis fünfzehn Jahren ist ein dort mehr oder weniger ausgeprägter Anstieg zu bemerken.

Beim Betrachten der extremen Monats- und Jahressummen erkennt man den Mangel an Übereinstimmung unter den verschiedenen Regionen. Einzig die minimalen Monatssummen fallen an drei Orten in den Oktober, wenn auch in verschiedenen Jahren. In Klagenfurt hat es dagegen in diesen hundert Jahren sieben praktisch niederschlagsfreie Monate gegeben, aber keinen davon im Oktober (zweimal im Jänner, viermal im Februar und einmal im November). Erwähnt sei noch, dass in einem verregneten Sommer annähernd gleich viel Niederschlag fallen kann wie im jeweils trockensten Jahr. In Wien brachte der Sommer 1959 mit 406 mm Niederschlag sogar etwas mehr als das gesamte Jahr 1932.

Insgesamt war das 20. Jahrhundert in Österreich um 0.35 °C wärmer als das 19., besonders stark war dieser Trend im Winter (20. Jahrhundert um 0.7 °C wärmer), während die durchschnittlichen Sommer in beiden Jahrhunderten im Mittel gleiches Temperaturniveau hatten. Es ist damit etwa mit dem 11. und 12. Jahrhundert vergleichbar, alle anderen Jahrhunderte des Jahrtausends waren kühler.

**Tab. 3**: Dezennienmittel der Lufttemperatur (°C) einiger österreichischer Orte.

| | Wien/ Hohe Warte | Innsbruck | Klagenfurt | Kremsmünster |
|---|---|---|---|---|
| 1900-1909 | 9.0 | 8.1 | 7.6 | 8.1 |
| 1910-1919 | 9.1 | 8.2 | 7.8 | 8.3 |
| 1920-1929 | 9.1 | 8.5 | 7.9 | 8.4 |
| 1930-1939 | 9.4 | 8.4 | 8.0 | 8.5 |
| 1940-1949 | 9.1 | 8.6 | 8.0 | 8.5 |
| 1950-1959 | 9.5 | 8.5 | 8.1 | 8.6 |
| 1960-1969 | 9.4 | 8.6 | 8.0 | 8.5 |
| 1970-1979 | 9.7 | 8.6 | 8.1 | 8.6 |
| 1980-1989 | 9.8 | 8.9 | 8.1 | 8.8 |
| 1990-1999 | 10.5 | 9.6 | 8.8 | 9.5 |

**Tab. 4**: Maximale und minimale Temperatur-Jahresmittel (°C).

| | Wien/ Hohe Warte | Innsbruck | Klagenfurt | Kremsmünster |
|---|---|---|---|---|
| 1940 | 7.2 | 7.1 | 6.8 | 6.8 |
| 1994 | 11.8 | 10.8 | 9.9 | 10.7 |
| langjähriges Mittel | 9.5 | 8.6 | 8.1 | 8.6 |

**Tab. 5**: Maximale und minimale Temperatur-Einzelwerte (°C).

| | Wien/ Hohe Warte | Innsbruck | Klagenfurt | Kremsmünster |
|---|---|---|---|---|
| Max. Temp. | 38.3 | 37.7 | 37.4 | 34.3 |
| Datum | 8.7.1957 | 11.7.1984 | 5.7.1950 | 27.7.1983 |
| Min. Temp | -25.8 | -30.6 | -27.8 | -25.4 |
| Datum | 11.2.1929 | 3.2.1956 | 22.1.1963 | 7.1.1985 |

**Tab. 6**: Dezennienmittel der Niederschlagsjahressummen (mm).

| | Wien/ Hohe Warte | Innsbruck | Klagenfurt | Kremsmünster |
|---|---|---|---|---|
| 1900-1909 | 673 | 819 | 1011 | 861 |
| 1910-1919 | 748 | 951 | 1056 | 929 |
| 1920-1929 | 657 | 879 | 1004 | 895 |
| 1930-1939 | 658 | 855 | 1020 | 924 |
| 1940-1949 | 683 | 837 | 900 | 978 |
| 1950-1959 | 663 | 936 | 938 | 1000 |
| 1960-1969 | 616 | 893 | 958 | 951 |
| 1970-1979 | 617 | 863 | 915 | 909 |
| 1980-1989 | 590 | 852 | 846 | 977 |
| 1990-1999 | 668 | 862 | 867 | 986 |

**Tab. 7**: Maximale und minimale Niederschlagsmonats- und Jahressummen (mm).

| | Wien/ Hohe Warte | Innsbruck | Klagenfurt | Kremsmünster |
|---|---|---|---|---|
| Max. Jahressumme | 988 | 1247 | 1390 | 1294 |
| Jahr | 1941 | 1966 | 1937 | 1944 |
| Min. Jahressumme | 404 | 649 | 681 | 684 |
| Jahr | 1932 | 1938 | 1971 | 1908 |
| Max. Monatssumme | 244 | 246 | 299 | 293 |
| | Jul. 97 | Aug. 70 | Okt. 33 | Jul. 57 |
| Min. Monatssumme | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Okt. 65 | Okt. 43 | mehrmals | Okt. 51 |

**Tab. 8**: Klimaereignisse in Österreich.

| Jahr | Beschreibung des Ereignisses |
|---|---|
| 1111 | Lienz wird vom Schleinitzbach und Grafenbach fast zur Gänze zerstört. |
| 1322 | Mai: Starke Kälte lässt Weinstöcke erfrieren. |
| 1328 | Winter: 17 Wochen lang anhaltender Eisstoß auf der Donau. |
| 1338-40 | Österreich wird von einer verheerenden Heuschreckenplage heimgesucht. |
| 1342 | Donauüberschwemmung mit 6000 Toten. |
| 1347 | Matrei in Osttirol wird vom hochwasserführendem Bretterwandbach vollständig zerstört – zahlreiche Tote. |
| 1425 | Sommer: Außergewöhnlich heiß. |
| 1426 | 20 Wochen lang anhaltende große Hitze zu Martini (11. Nov.) 8 Tage lang bestehender Eisstoß auf der Donau. |
| 1427 | Winter: Sehr kalter und schneereicher Winter (in den Kellern gefriert der Wein) – allgemeine Hungersnot. Der Sommer ist sehr heiß und trocken. |
| 1458/59 | Missernten führen 1458 und 1459 zu Notlagen in Wien; allgemein herrscht eine Hungersnot. |
| 1501 | Die Donau überschwemmt im August für 10 Tage Wien. |
| 1572/73 | Extrem kalter Winter: der Bodensee ist für 60 Tage bis zum 1. April vollständig zugefroren. |
| 1580-90 | Feucht-kalte Sommer lassen in Österreich den Weinbau zusammenbrechen. |
| 1658 | Die einzige Donaubrücke Wiens (Brigittenau) wird im Februar durch einen Eisstoß völlig zerstört. |
| 1669 | Der größte bekannte Ausbruch des Lahnbaches zerstört im Juni in Schwaz 14 Häuser, 152 Häuser sind bis zum 1. Stock vermurt, 42 Tote. |
| 1680-85 | Sehr kalte Winter in Mitteleuropa, am kältesten ist es im Jänner 1684. |
| 1689 | Bei Lawinenabgängen im Montafon 120 Tote, 119 Häuser zerstört;<br>im Tiroler Paznaun 29 Tote und 800 Häuser zerstört. |
| 1712 | Überschwemmung und Verschlammung von Kirchschlag (Bucklige Welt) am 2. August mit nahezu völliger Zerstörung und 42 Toten. |
| 1737 | Juli: Der hochwasserführende Schmittenbach verwüstet am 3. Juli Zell am See. |
| 1787 | Allerheiligen – Hochwasser mit verheerenden Folgen in Wien. |
| 1804 | Große Murschübe am Schesatobel (Vorarlberg) riegeln die Ill ab und verwüsten den Talboden. |
| 1817 | Höchster bekannter Wasserstand des Bodensees – ab Juli 89 Tage lang mehr als zwei Meter über dem Normalpegel. |
| 1829/30 | Winter: Lang andauernder Frost: die Donau und Nebenflüsse frieren zu. Mit dem einsetzenden Tauwetter überschwemmt die Donau Ende Februar die Vorstädte Wiens, 74 Menschen ertrinken. Es ist der kälteste Winter seit Beginn der Messungen 1767. |
| 1862 | Feber: mit einem Wasserstand von 3 bis 4 Meter über dem Normalstand werden vom 2. bis zum 10. Februar weite Teile Wiens überflutet – die Donauregulierung wird beschlossen. |
| 1880 | Jänner: nach einem starken Eisstoß werden am 4. Jänner die südlich von Wien gelegenen Donaugemeinden überschwemmt. |
| 1882 | Sept./Okt.: vom 16. bis zum 20. September und am 27. Oktober ereignen sich in Kärnten und in Tirol zwei Hochwasserkatastrophen gigantischen Ausmaßes. |
| 1884 | Zell am See ist nach Ausbrüchen des Schmittenbaches zweimal von katastrophalen Hochwassern betroffen. |
| 1899 | September: zwischen dem 8. und 18. September größte Donau- Hochwasserkatastrophe des 19. Jahrhunderts. Überschwemmungen auch bei allen Zubringern, besonders im Traun- und Ennstal, wo am 12.9. in Mühlau bei Admont mit 287,5 mm die größte Tagesniederschlagsmenge dieses Ereignisses registriert wird. Bei der Wr. Reichsbrücke wird der absolut höchste Pegelstand mit 862 cm gemessen. |
| 1910 | August, September: Hochwasserkatastrophe im gesamten Einzugsgebiet des Rhein verwüstet das ganze Land; im Montafon werden alle Brücken weggerissen – Vandans wird völlig zerstört und unbewohnbar. In Dornbirn wird am 31.8. mit 336 l/m² bis dahin die absolut größte österreichische Tagesniederschlagsmenge gemessen. |
| 1915 | August: Am 10. August meldet Schaueregg am Wechsel mit 650 l/m² den höchsten je beobachteten Eintagesniederschlag Österreichs. |
| 1916 | Juli: Am 10. Juli wird in Wiener Neustadt die bisher stärkste Windhose beobachtet: 32 Tote, 116 Verletzte und 150 beschädigte Gebäude sind die Bilanz. |
| 1916 | Dezember: Am 13. Dezember ereignet sich die größte Lawinenkatastrophe im Frontbereich mit Italien mit weit mehr als 3000 Toten. |
| 1917 | Kärnten verzeichnet den schneereichsten überlieferten Winter. In Kornat wird am 30.1. mit 363 cm die absolut größte österreichische Schneehöhe in Tallagen gemessen (neben der Station am Sonnblick auf 3105 m mit 11,9 m am 9. Mai 1944). |
| 1921 | Verheerendes Traisenhochwasser: schwer betroffen ist Lilienfeld (Särge werden aus den Friedhofsgräbern gespült). |
| 1925/26 | Jeweils im August zwei Murenkatastrophen im Raum Bodensdorf am Ossiacher See: 1925 sind vier Orte 2 m hoch vermurt – 1926 wird die Kirche schwer beschädigt, der Friedhof fortgeschwemmt. |
| 1929 | Jänner, Feber: Ganz Österreich erlebt ab dem Jänner einen katastrophalen Winter – im Februar bildet sich auf der Donau ein Eisstoß. Stift Zwettl verzeichnet am 11.2. mit -36,6°C die absolut tiefste in Österreich gemessene Temperatur (neben dem Sonnblick, Seehöhe 3105 m, mit -37,2°C am 1. Jänner 1905). |
| 1946 | Feber: In Wien Hohe Warte wird am 18. Februar mit 139 km/h die größte Böenspitze seit Beginn der Messungen registriert. |
| 1947 | Juni: In der Semmering-Wechselregion fallen am 5. Juni innerhalb von 7 Stunden 325 l/m² Niederschlag. |
| 1948 | Juni: Aus der Umgebung von Innsbruck wird am 17. Juni der stärkste Hagelschlag seit über 30 Jahren gemeldet. |
| 1948 | August: Ab dem 10. August werden in Tirol die größten Hochwasserstände seit 1776 verzeichnet: es kommt zum Bruch des neuen Inndamms bei Zirl. |
| 1950/51 | Winter: Katastrophenwinter, im Jänner sterben in Österreich bei 37 Lawinenabgängen 135 Menschen, 79 Häuser werden zerstört; schwere Schneelastschäden an Stromleitungen und Brücken, und in den Wäldern fallen 350.000 Festmeter Holz an, davon die Hälfte in Tirol. |
| 1954 | Jänner: Am 10. Jänner ereignet sich die größte zivile Lawinenkatastrophe der Ostalpen, mit Blons im Großen Walsertal als Schwerpunkt. Mit den Lawinenabgängen am 11. gibt es im Bereich Blons alleine 57 Tote. |
| 1954 | Sommer: Ab dem 10. Juni kommt es bis zum 13. Juli zum Jahrhunderthochwasser im Einzugsbereich Donau – Inn: Linz ist schwer betroffen – in Wien lautet der Pegelstand 790 cm. |
| 1956 | Jänner: Der extrem kalte Winter 1955/1956 erfordert im Jänner die Einstellung der Donauschiffahrt. |

| | |
|---|---|
| 1958 | August: Unwetterkatastrophe größten Ausmaßes in den Fischbacher Alpen: am 12. und 13. 8. fallen innerhalb von 8 Stunden 500 l/m². Bilanz: 5 Tote und 200 Millionen Schilling Schaden; auf 280 ha fallen 22.000 Festmeter Schadholz an. Innerhalb von 20 Minuten Zerstörung tausender Fenster, auf den Straßen liegen „Hagelbrei", eingestürzte Bäume, hunderte erschlagene Vögel. |
| 1961 | Dezember: Von 11.-14. Dezember: Überschwemmungen katastrophalen Umfangs in Tirol, Salzburg und Oberösterreich. |
| 1964 | Juni: Am 20. Juni kommt es zu enormen Hagelschäden, an einem der längsten Hagelstriche von Salzburg bis Wien. |
| 1965 | April: Starkschneefälle bewirken in Tirol und Salzburg am 21.4. den Abgang mehrerer Katastrophenlawinen. Mit der Schneeschmelze kommt es ab dem 28.4. in Niederösterreich zu extremen Überschwemmungen, auch im Burgenland und in der Steiermark stehen Orte unter Wasser. |
| 1965 | Mai: Ab dem 11. Mai herrscht die zweite Hochwassersituation in der Steiermark, in Niederösterreich und im Burgenland, ab dem 21. Mai Hochwasser in Wien und rund um den Neusiedler See. |
| 1965 | Juni: In Wien fällt am 5. Juni eine Monatsniederschlagsmenge an einem Tag (60,9 l/m² in 12 Std., 70,6 l/m² in 24 Stunden). Im Marchfeld stehen 80 % des Ackerlandes drei Wochen lang, bis zum 24.6. unter Wasser. In Tirol stehen mit der Schneeschmelze gleichzeitig 10.000 ha unter Wasser. |
| 1965 | Am 27.6. sind Stadtteile von Bregenz überflutet; mit 325 cm Pegelstand am 29.6. ist dieser der höchste seit 1890 (374 cm). In Tirol und Salzburg herrscht Hochwasser, anhaltend bis zum 2. Juli: in Tirol ist Wattens am schwersten betroffen. |
| 1965 | Juli: Am 16. Juli kommt es zu einer Flutkatastrophe in Niederösterreich. |
| 1965 | Ab dem 31.8. führen ergiebige Niederschläge landesweit in Kärnten und in Osttirol bis zum 4. September zur größten Hochwasserkatastrophe in dieser Region seit 1882; am 1. und 2. September fallen in Lienz innerhalb von 48 Stunden 181 l/m²; ab dem 4.9. stehen Teile von Villach unter Wasser. |
| 1966 | August: Vom 15. bis zum 19.8. kommt es zu einer neuen Hochwasserkatastrophe in Osttirol und in Kärnten, mit noch ärgeren Schäden als 1965. |
| 1966 | November: Vom 3. bis zum 4. 11. fallen in Lienz innerhalb von 24 Stunden 232 l/m² – es kommt zur dritten Hochwasserkatastrophe innerhalb von 16 Monaten; bis zum 5.11. fallen in Osttirol und Kärnten noch größere Niederschlagsmengen als in den Zeiträumen 30.8.-3.9.1965, 15.-19.8.1966. |
| 1967 | Juni: Nach einer Hitzewelle kommt es am 27. und am 28. Juni in allen Bundesländern zu Unwettern mit extremen Schäden: alleine in Oberösterreich und in der Steiermark besteht nach Hagelschlägen 32 Milliarden Schilling Schaden. |
| 1967 | Dezember: Ein Warmlufteinbruch am 24.12. bewirkt in Österreich die wärmsten Weihnachten dieses Jahrhunderts (das Tagesmaximum in Wien Hohe Warte beträgt 13,3°C). |
| 1968 | Von Februar bis Juni herrscht die trockenste Periode seit 1856 – ab April bestehen bereits schwere Trockenschäden, auf der Hohen Wand (NÖ) kommt es zu Waldbränden – im Mai müssen 10.000 ha Zuckerüben umgebrochen werden – schließlich müssen 20 % der österreichischen Ackerfläche neu bestellt werden- ab Mitte Juni wird 50 % Ernteausfall erkennbar – ein 40 % schlechterer Heuertrag zwingt Viehbauern ab dem Juli zu Notverkäufen. Mit der Hitzewelle in Wien zwischen dem 16.6. und dem 4.7. zahlreiche hitzekollabierende Personen – Wasser wird rationiert. |
| 1969 | Dezember: 5.-9. Dezember: ergiebige Schneefälle, verbunden mit Sturm, führen im Osten Österreichs zu einer Schneekatastrophe: die Schneehöhe in Wien beträgt am 9.12. 45 cm – neben aperen Stellen bestehen 3 m hohe Wächten. |
| 1970 | August: Vom 7. bis zum 9. August bewirkt eine Serie schwerster Unwetter Katastrophenschäden in ganz Österreich. |
| 1970 | November: Mit 21,7°C in Wien ist der 3.11. der wärmste Novembertag seit Beginn der Temperaturmessungen anno 1775. |
| 1971 | Im Juli und August 1971 kommt es zu großen Hitzewellen / am 7. ist St. Pölten mit 38,2°C „Hitzepol Europas". |
| 1972 | Wasserknappheit nach trockenem Sommer und Herbst in Wien – ab Februar nächsten Jahres wird die Trinkwasserversorgung eingeschränkt – der Bodensee erreicht am 17.3. den tiefsten Wasserstand seit 1815. |
| 1975 | Vom 23. Juni bis zum 5. Juli bestehen katastrophale Hochwassersituationen in Salzburg, Kärnten und in Niederösterreich: 13 Menschen sterben – in Wien ist mit einem Pegelstand von 8 Meter der Handelskai überflutet. |
| 1975 | August: Am 22. 8. schwerste Hagelschäden in Salzburg (in der Stadt Salzburg fallen 5 cm große Hagelschlossen). |
| 1976 | Jänner: 2.-7. Jänner: Sturmkatastrophe mit schweren Schäden im Osten Österreichs: Wien verzeichnet im Jänner an 20 Tagen Sturm – erstmals an 5 Tagen in Folge Böenspitzen über 100 km/h, am 4. den Maximalwert mit 135 km/h, und mit 21,6 km/h wird für Wien das absolut höchste Jännermittel der Windgeschwindigkeit verzeichnet. |
| 1976 | Vom 6. Juni bis zum 20. Juli kommt es in Österreich zu einer 6-wöchigen Trockenperiode mit Dürreschäden. |
| 1978 | August: Ein Genuatief bewirkt mit starken Niederschlägen vom 8. bis zum 10. August Katastrophensituationen in Vorarlberg und in Tirol: Gaschurn wird vermurt – das obere Rheintal ist unter Wasser – in Innsbruck ist der Innpegel 1 m über der Hochwassermarke: das Stubaital ist am stärksten von Hochwasserschäden betroffen. |
| 1978 | Am 31.5. und am 1.6.: schwere Hagelgewitter in Niederösterreich und in Wien: Randegg registriert 100 l/m² innerhalb von 3 Stunden – das Hochwasser der Kleinen Erlauf wird als 100-jähriges Ereignis eingestuft. |
| 1982 | Juni: Am 26. Juni extreme Hagelkatastrophe mit Totalschäden im südlichen Niederösterreich, angrenzendem Burgenland und in der Steiermark zwischen Kapfenberg und Fürstenfeld. |
| 1983 | Außerordentlich warmes Jahr: Wien erlebt den wärmsten Winter seit 1775, trotz Schneechaos im Februar. |
| 1983 | Juli: In Österreich gibt es einen Jahrhundert-Sommer, mit dem wärmsten Juli seit 1859, und dem neuen absoluten österreichischem Temperaturmaximum, 39,7°C am 27. 7. in Dellach im Drautal. |
| 1983 | November: Die Donau erreicht am 15.11. mit 70 cm den tiefsten Pegelstand seit 100 Jahren, wobei der Schiffsverkehr eingestellt werden muss. |
| 1984 | August: Am 1. August zerstört extremer Hagelschlag Obstanlagen in der Oststeiermark total – dabei fallen 40 Minuten lang hühnereigroße Schlossen. |
| 1985 | Die Kälteperioden 6. bis 10.1. und 12. bis 23.2. fordern bei Tiefsttemperaturen um -28°C 34 Todesopfer. |
| 1985 | August: Von 3.-8. August: außerordentliche Regenfälle in ganz Österreich führen zu den schwersten Hochwässern seit 1975 und 1954. |
| 1986 | Schneefälle von 9. bis zum 16. Februar führen im Osten und Südosten Österreichs zur extremsten Schneesituation seit 1963: In Wien kommt praktisch der gesamte Verkehr zum Erliegen – Straßen in den Tieflagen sind verweht, tagelang unpassierbar. In Sillian, Osttirol wird am 31. 1. mit 170 cm die absolut größte österreichische Tagesneuschneemenge gemessen. |
| 1987 | Juli: 1.-19. Juli: eine Serie von Unwettern bewirkt katastrophale Folgeschäden : Saalbach wird am 2. und 9. zweimal verwüstet. Am 19. bricht bei Fussach der Rheindamm und das Mündungsgebiet wird völlig überflutet – der Bodensee hat den höchsten Pegelstand seit 1965. |
| 1987 | August: Am 25. August sind nach Unwettern das Ötztal, das Wipptal und das Salzachtal Katastrophenregion, mit 8 Toten und 3 Milliarden Schilling Schaden. |

| | |
|---|---|
| 1990 | 26.2.-1.3.: Sturmtief „Vivian“ richtet in Österreich rund 3 Milliarden Schilling Schäden an; maximale Böenspitzen sind in Hörsching 147 km/h, in Wien 130 km/h. Es entstehen besonders enorme Forstschäden. |
| 1990 | Mai: Extremster Hagel verwüstet am 22. Mai rund um Langenlois weite Weinflächen. In der Gemeinde liegt der Hagel 50 cm hoch; alleine im Weinbau entstehen 300 Millionen Schilling Schaden auf 400 km² Rebfläche. |
| 1991 | Seit dem 20. Juli anhaltende Niederschläge führen vom 28.7.-5.8. zur schwersten Hochwasserlage seit 1954: am 28. Juli wird die Stadt Steyr von der Enns 60 cm hoch überflutet, (mit dem höchsten Wasserstand seit 18 Jahren); am 2. August fallen in der Stadt Salzburg in 24 Stunden 130 l/m², die Salzach tritt aus den Ufern – gleichzeitig ist Steyr das zweite Mal unter Wasser; Am 4. August steigt in Wien der Pegel von 5 auf 7 Meter (Durchflussmenge 9000 m?/Sekunde – 1954 waren es 9600 m²/Sekunde); alle Donaugemeinden unter Linz sind vom Hochwasser betroffen – Stadtteile von Krems – Stein stehen zwei Meter unter Wasser. |
| 1995/96 | In Wien herrscht ein sehr kalter Winter mit 85 Tagen mit Schneedecke („normal“: 44 Tage). |
| 1996 | November: Nach Starkregen am 14. und 15. November schwerste Vermurungen im Gailtal: Reisach registriert 110 l/m² in 12 Stunden und 170 l/m² in 24 Stunden. |
| 1997 | Juli: Vom 4. bis zum 8. Juli fallen extreme Niederschlagsmengen und bewirken weite Überschwemmungen in Niederösterreich: am schwersten betroffen ist der Raum um Lilienfeld – von 15.-18. Juli folgt eine zweite Niederschlagsperiode, wobei die Hochwasserregionen wieder betroffen sind. Lunz am See registriert vom 4. bis zum 21.7. 407 l/m² (vom 4. bis zum 8.7. 243 l/m²) – Wien registriert im Juli mit 244 l/m² die größte Monatsniederschlagssumme, von 4.-8.7. mit 184 l/m² die größte 5-Tagesmenge seit Beginn der Messungen. |
| 1999 | Mai: 20.-22. Mai „Jahrhunderthochwasser“ in Vorarlberg und Tirol, höchster Wasserstand des Bodensees seit mehr als 100 Jahren |
| 2000 | April/Mai: Die von Mitte April bis Ende Mai anhaltende Trockenheit führt im Osten Österreichs in der Landwirtschaft zu Dürreschäden und schweren Ernteverlusten. Im Raum Schwechat-Eisenstadt-Wr. Neustadt war noch nie zuvor das 2. Quartal eines Jahres so niederschlagsarm. |
| 2002 | August: Niederschläge zwischen dem 6. und dem 13. August lösen in Salzburg, Ober- und Niederösterreich eine katastrophale Hochwasserlage aus. Gemeinden des Bezirkes Perg, entlang des Kamp und der Donau erleiden verheerende Hochwasserschäden. |
| 2003 | 13. Mai: In Wien geht ein außergewöhnliches Gewitter nieder, mit einem bis zu 20 Minuten andauerndem Hagelschlag. Gleichzeitig entwickelt sich ein Tornado, welcher besonders im Bereich Kaisermühlen schwere Schäden an Bäumen und Gebäuden anrichtet. |
| 2003 | Sommer: Österreich erlebt den wärmsten Sommer seit Beginn meteorologischer Messungen. Damit wird der bisherige Rekord aus dem Jahr 1811 um mehr als 0.5 °C übertroffen. Die im Osten Österreichs von Januar bis August längste Trockenphase führt besonders im Südosten zu großen Ernteausfällen. |
| 2003 | 24. Oktober: Im Osten Österreichs treten die frühesten und ergiebigsten Oktober- Schneefälle seit 1940 auf. |
| 2004 | Juli: Hagelschläge zerstören am 6. und am 22. im Süden der Steiermark Kulturen im Wert von 16 Millionen Euro. |
| 2005 | August: „Jahrhundert-Hochwasser“ in Vorarlberg infolge von Dauerniederschlägen am 22. und 23. |
| 2006 | Juni: In der zweiten Junihälfte vielenorts Schäden durch – meist kurzdauernde -gewittrige Starkniederschläge. Juli: Höchste Monatsmittel der Temperatur an mehreren Orten wie nie zuvor in den Messreihen: Abweichungen gegenüber den Normalwerten um +3.5 bis +4.5 °C. |
| 2007 | Jänner: Höchste Temperaturmonatsmittel seit Beginn der Messungen: Österreichweit Abweichungen genüber den Normalwerten um +3 bis +5°C |

## Auswahl einiger bedeutender Wetter- und Klimaereignisse in Österreich

Die Zusammenstellung in Tabelle 8 erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Entsprechend des stetig besser werdenden Informationsflusses können Ereignisse aus der jüngsten Vergangenheit vollständiger erfasst werden.

## Klimavariabilität und Vorhersage

Der Begriff der natürlichen Klimavariabilität umfasst Schwankungen im Klimasystem, die aus zufälligen Fluktuationen physikalischer und chemischer Faktoren, Wechselwirkungen innerhalb des Systems und äußeren Einflüssen resultieren. Es greifen also interne Effekte (die so genannte Klimadrift, wobei das simulierte Klima sich langsam von der realistischen Klimatologie entfernt) und externe Einflüsse (wie z. B. Vulkanausbrüche, Sonnenaktivität, Änderungen der Erdbahnelemente, usw.) ineinander.

Natürliche Klimavariabilität spielt auf dem Gebiet der Klimaforschung eine wichtige Rolle. Einerseits ist die realistische Simulation des vorindustriellen bzw. heutigen Klimas mit seinen natürlichen Schwankungen eine Grundvoraussetzung für die Brauchbarkeit und Glaubwürdigkeit von Klimamodellen in der Untersuchung und Vorhersage des menschlichen Einflusses auf das Klima. Bevor nicht die Dynamik und Wechselwirkungen im ungestörten Klimasystem verstanden werden, kann man z. B. auch die Auswirkungen von Störfaktoren wie erhöhter Treibgaskonzentration in der Vergangenheit nicht nachbilden und in die Zukunft projizieren. Andererseits erfordert die Beantwortung der Frage, ob der Mensch das Klima verändert oder schon verändert hat, den Nachweis, dass die in die Zukunft projizierten bzw. schon in der jüngeren Vergangenheit beobachteten Änderungen im Klima größer sind, als dies in einem ungestörten System der Fall wäre. Zur Abschätzung der natürlichen Klimavariabilität werden in der Regel sehr lange ungestörte Simulationen mit Klimamodellen benutzt.

Eine wichtige Informationsquelle zur Beschreibung der natürlichen Klimavariabilität sind Paläo-Rekonstruktionen. Zum Teil werden solche Rekonstruktionen aus langen historischen Messreihen (in Oberösterreich: Kremsmünster) oder aus phänologischen Aufzeichnungen über Wetterbeobachtungen oder Blütezeiten (z. B. aus China oder Japan) gewonnen. Weitere indirekte Daten beruhen auf der Breite oder Dichte von Baumringen oder auf geochemischen Messungen von Korallen- oder Eisbohrkernen. Aus solchen Daten werden Rekonstruktionen der Temperaturentwicklung über der nördlichen Hemisphäre entwickelt. Ein Problem dabei ist

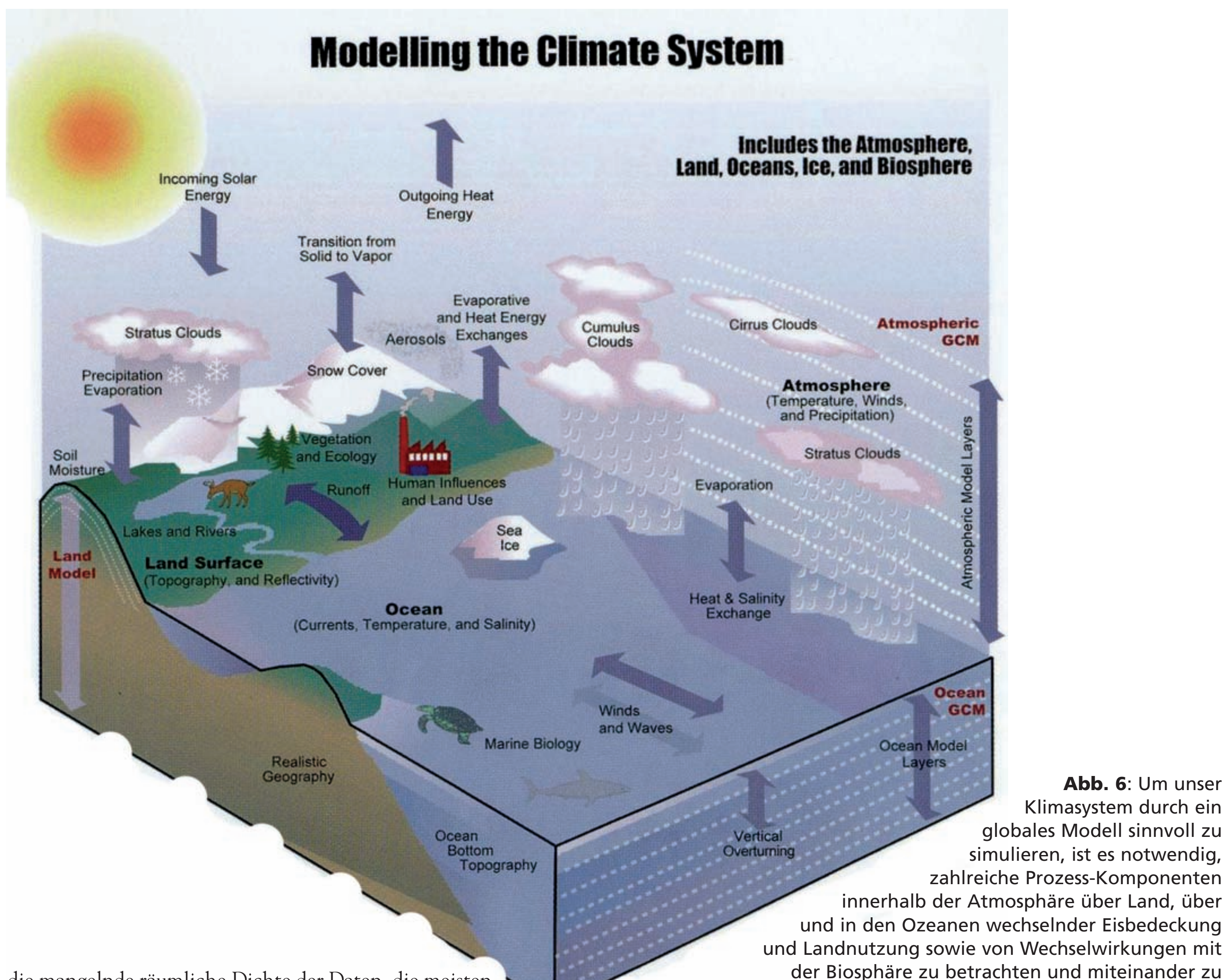



**Abb. 6**: Um unser Klimasystem durch ein globales Modell sinnvoll zu simulieren, ist es notwendig, zahlreiche Prozess-Komponenten innerhalb der Atmosphäre über Land, über und in den Ozeanen wechselnder Eisbedeckung und Landnutzung sowie von Wechselwirkungen mit der Biosphäre zu betrachten und miteinander zu verknüpfen.

die mangelnde räumliche Dichte der Daten, die meisten Datensätze dokumentieren nur einen Teil der Erdoberfläche. Daten für die Südhemisphäre sind bisher zu spärlich, um eine Rekonstruktion der südhemisphärischen Mitteltemperatur zu erlauben.

In den letzten Jahren gab es wesentliche Fortschritte in der Fähigkeit der Modelle, die Klimavariabilität realistisch zu simulieren. Es gibt keine Hinweise darauf, dass die simulierten globalen Muster der Temperaturvariabilität grob falsch sind. Allerdings wird die Unsicherheit umso größer, je länger die beobachteten Zeiträume werden und je höher die räumliche Auflösung ist, bezüglich der verglichen wird. Wenn die Temperaturvariabilität in der mittleren und oberen Atmosphäre mit Beobachtungen verglichen wird, sind die Ergebnisse etwas problematischer. Es ist vor allem nicht klar, inwieweit die stratosphärische Variabilität von den derzeitigen Klimamodellen gut simuliert wird. Hier ist der Vergleich zwischen Beobachtungen und Modellsimulationen noch schwieriger, da Beobachtungen höchstens seit 50 Jahren zur Verfügung stehen und nicht sehr genau sind.

Ein weiteres Problem sowohl bei der Ableitung der natürlichen Variabilität aus langen Kontrollsimulationen als auch deren Vergleich mit Paläodaten besteht darin, dass die Simulationen die Auswirkungen der natürlichen, aber extern angetriebenen Variabilität (durch Solarstrahlung, Vulkane, Landnutzung, etc.) nicht berücksichtigen, diese jedoch in den Paläodaten enthalten sind. Änderungen in der Solareinstrahlung unterliegen einem elfjährigen Zyklus, der seit Beginn der Satellitenmessungen aufgezeichnet wurde. Es wird vermutet, dass es auch längerfristige Schwankungen in der Stärke der Sonneneinstrahlung gab. Vulkanausbrüche führen zu einer Klimaabkühlung über mehrere Jahre, möglicherweise im Winter auch zu lokaler Erwärmung durch ihren Einfluss auf die obere Troposphäre. Es wird vermutet, dass mehrere Vulkanausbrüche in einem relativ kurzen Zeitraum auch längerfristige Abkühlung hervorrufen könnten.

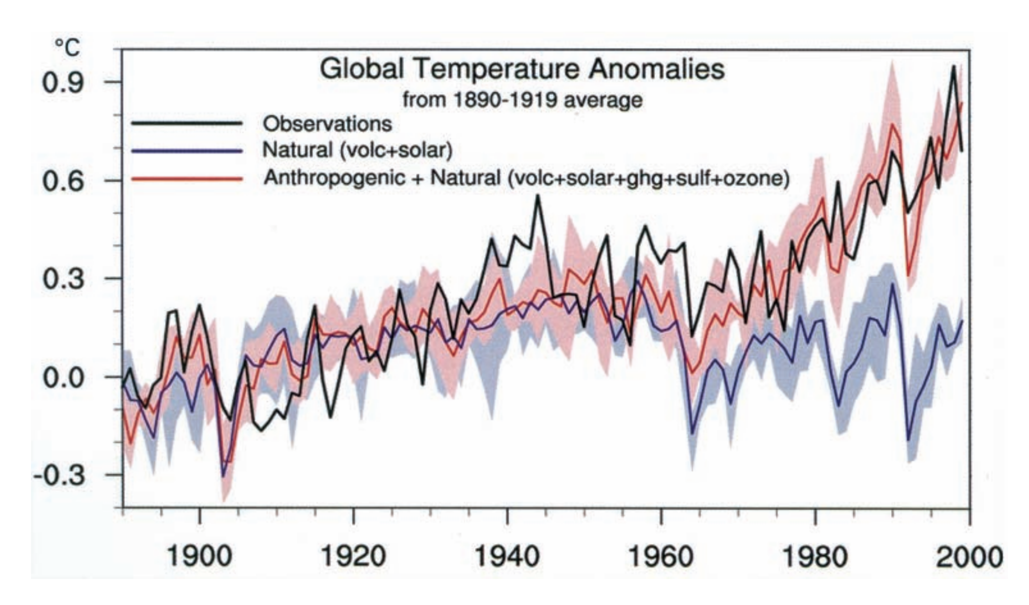



**Abb. 7**: Abweichungen der globalen Mitteltemperatur (°C) vom Mittel aus 1890 bis 2000 Schwarz: Beobachtungen, Rot: Modellrechnung unter Berücksichtigung natürlicher Einflüsse (Änderung solarer Strahlung, Vulkantätigkeit) und anthropogener Eingriffe (Treibhausgase, Schwefel-Aerosole, Ozonproduktion in Bodennähe, Ozonzerstörung in der Stratosphäre).

Man vermutet, dass für sich allein genommen die kombinierte Auswirkung von Schwankungen in der Solareinstrahlung und Vulkanausbrüchen in den letzten 30 Jahren zu einer Abkühlung hätte führen müssen. Kritiker einer anthropogen verursachten Klimaerwärmung haben z. B. immer argumentiert, dass die Klimaerwärmung im frühen 20. Jahrhundert (gefolgt von einer Abkühlung zwischen 1945 und 1975), vor der massiven Akkumulation von Treibhausgasen in der Atmosphäre passierte und daher Ausdruck natürlicher Variabilität sei. Die Unfähigkeit früherer Klimamodelle, diese Entwicklung korrekt zu simulieren, erzeugte weiteren Zweifel an der These einer menschlichen Mitwirkung an der in den letzten Jahrzehnten erneut beobachteten Erwärmung und an den Modellprojektionen einer zukünftigen Klimaänderung.

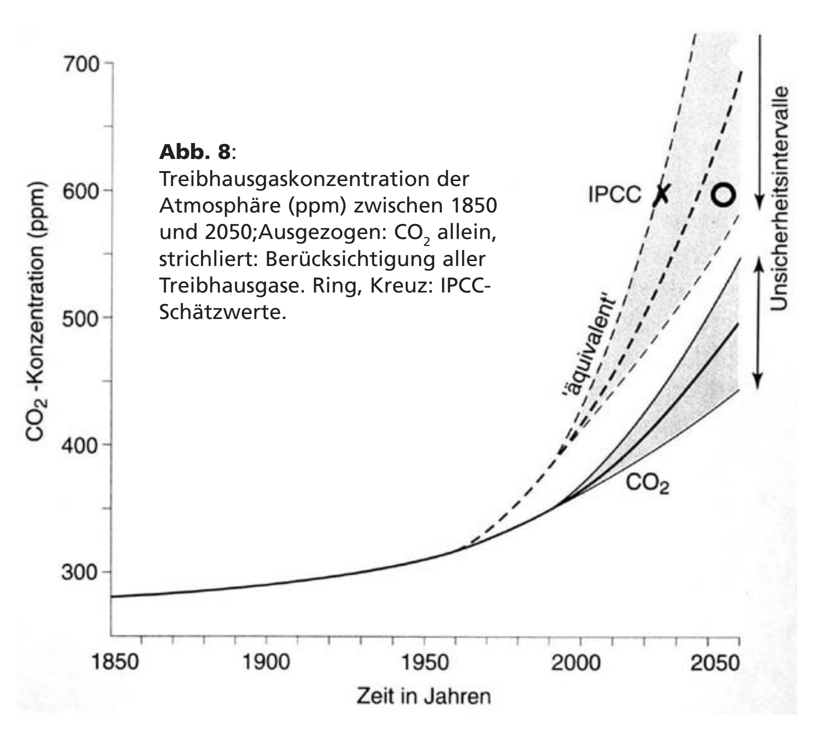



**Abb. 8**: Treibhausgaskonzentration der Atmosphäre (ppm) zwischen 1850 und 2050;Ausgezogen: $CO_2$ allein, strichliert: Berücksichtigung aller Treibhausgase. Ring, Kreuz: IPCC-Schätzwerte.

Das Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, sowohl die intern als auch die extern angeregte natürliche Klimavariabilität zu verstehen und mit Modellen zu simulieren.

Auch hier sind weiterhin Verbesserungen bei der Rekonstruktion der Schwankungen der Solarstrahlung und Vulkanaktivität zu erwarten.

Das wichtigste Ergebnis zahlreicher derartiger Studien ist, dass erst bei der Kombination der anthropogenen und natürlichen Antriebsmechanismen alle vier Simulationen eines Ensembles von Experimenten mit nur leicht veränderten Anfangsbedingungen sehr gut mit dem zeitlichen Verlauf über das gesamte Jahrhundert übereinstimmen, sowohl die globalen Temperaturmittel als auch die groß-skalige räumliche Struktur betreffend.

Aus Abb. 6 erkennt man, welche vielfältigen, komplexen Zusammenhänge bei der Klima-Modellierung zu beachten sind!

Klimamodelle, die nur „natürliche" Einflüsse mit einbeziehen (vulkanischer und solarer Natur) ergeben für das Ende des 20. Jahrhunderts keine Erwärmung. Wenn man jedoch die vom Menschen verursachten Treibhausgase und Sulphat-Aerosole mit einbezieht, ergeben die Modelle die beobachtete Erwärmung (siehe Abb. 7).

So lässt sich sagen, dass trotz verbleibender Unsicherheiten die Modelle inzwischen recht brauchbar sind. Der starke Anstieg der globalen Temperatur gegen Ende des 20. Jahrhunderts ist mit ziemlich großer statistischer Sicherheit weder mit interner Klimavariabilität allein, noch mit rein natürlich angetriebener Variabilität zu erklären.

In einem Punkt stimmen alle Rekonstruktionen deutlich überein: Die Durchschnittstemperatur im 20. Jahrhundert in der nördlichen Hemisphäre ist einzigar-

tig, sowohl was den allgemeinen Durchschnitt als auch die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs betrifft. Insbesondere die 90er Jahre waren außergewöhnlich warm – möglicherweise war es das wärmste Jahrzehnt seit mindestens 1000 Jahren (selbst wenn man die geschätzten Unsicherheiten früherer Jahre mit einbezieht). Diese Aussage gilt insbesondere auch für ganz Mitteleuropa und – besonders deutlich – für das Alpengebiet: Die folgende Tabelle aus ZAMG (2002) gibt einen Überblick über die im Jahresmittel erfolgten Veränderungen verschiedener Klimaelemente am Hohen Sonnblick (3.106 m) der Dekade 1991-2000 gegenüber der Normalperiode 1961-1990. Der hier beobachtete Temperaturanstieg während der letzten Jahre liegt deutlich über den großräumig festgestellten Durchschnittswerten.

**Tab. 9**: Differenz der Jahresmittel verschiedener Klimaelemente zwischen 1991-2000 und 1961-1990 auf dem Hohen Sonnblick.

| **Sonnblick, 1991-2000 minus 1961-1990** | | | |
|---|---|---|---|
| **Lufttemperatur (°C)** | | **Dampfdruck (hPa)** | |
| Mittel | +0.8 | Mittel | +0.2 |
| Mittleres Tagesmaximum | +0.9 | | |
| Mittleres Tagesminimum | +0.8 | Relative Feuchte (%) | |
| Mittlere Tagesschwankung | +0.1 | Mittel | -2.2 |
| Mittleres Jahresmaximum | +0.5 | | |
| Mittleres Jahresminimum | +1.2 | Niederschlag (mm) | |
| Mittlere Zahl von Eistagen | -15.2 | Summe (mm) | +105 |
| Mittlere Zahl von Frosttagen | -12.0 | Tage mit zumindest 1 mm (Tage) | +0.6 |
| Mittlere Zahl von strengen Frosttagen | -16.7 | Intensität (mm pro Niederschlagstag) | +0.4 |
| | | Fester Anteil des Niederschlags (%) | -3.6 |
| **Luftdruck (hPa)** | | | |
| Mittel | +1.4 | **Schneehöhe (cm)** | |
| | | Erster Mai (Ende der Winterakkumulation) | +23 |
| **Sonnenscheindauer (Stunden)**<br>Mittel | +55 | Erster Oktober (Ende der Sommerablation) | -33 |
| | | **Windgeschwindigkeit (m/s)** | |
| **Bewölkung (%)** | | Mittel | +0.6 |
| Mittel | +1.0 | | |
| Zahl der heiteren Tage | -0.6 | **Gewitter** | |
| Zahl der trüben Tage | +1.7 | Zahl der Gewittertage (Tage) | -0.1 |
| Zahl der Nebeltage | -3.3 | | |

## Das Weltklima-Forschungsprogramm (WCPR) – und das Bewusstsein für die Klimaveränderung

Die internationale Gemeinde der physikalischen Klimawissenschaftler hat die Welt zuerst auf die globale Erwärmung, die Aussicht auf vom Menschen verursachte Klimaveränderungen und deren Konsequenzen aufmerksam gemacht: Die wahrscheinlichsten Gründe für die globale Klimaveränderung wurden aufgezeigt (Wachsender Energieverbrauch und Freisetzung von Treibhausgasen, darunter als bekannteste Komponente das $CO_2$). Abb. 8 stellt die mutmaßliche (äquivalente) Treibhausgaskonzentration der Atmosphäre zwischen 1850 und 2050 dar. Ihre Zunahme ist verantwortlich für den steilen Temperaturanstieg während des Zeitraums 2000 bis 2100, wie die Berechnungen einer großen Zahl von Klimamodellen zeigen (siehe Abb. 9, rechter Teil).

In neuester Zeit hat man gelernt, mehr und mehr verlässliche Klimaveränderungs-Szenarios zu erstellen. Diese sind entscheidend für die Planung einer nachhaltigen Entwicklung. Entscheidend für ein besseres Verstehen des Klimasystems war die Zusammenarbeit von unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen, die bis jetzt wenig miteinander zu tun hatten.

Einer der wichtigsten Punkte der Klimawissenschaft ist es zu verstehen, in wie weit man die beobachteten Klimaveränderungen natürlichen Schwankungen zuschreiben kann, und wie viel davon auf menschliche Aktivität zurückzuführen ist. Das internationale WCRP nähert sich der Problematik von zwei Seiten. Es unterstützt Klimabeobachtungssysteme, um quantitativ die Veränderungen die in der Vergangenheit aufgetreten sind zu bestimmen (Paläo-Beobachtungen) und jene, die zur Zeit auftreten. Außerdem wird die Entwicklung und Verwendung von physikalisch-mathematischen Modellen und Analysemitteln gefördert, die die beobachteten Veränderungen ergeben und wo es möglich ist, auch ihre Ursachen aufzeigen.

Durch das bessere Verständnis klimatologischer Schlüsselprozesse wurden die Klimamodelle sowie einsatzfähige Wetter- und Ozeanvorhersagemodelle deutlich verbessert. Die Basis für unser Verständnis der natürlichen Klimavariabilität bilden koordinierte Datenanalysen und Klimamodellsimulationen. Insbesondere liefern verbesserte Modelle der jüngsten Generation des gekoppelten physikalischen Klimasystems mit systematischen Modelldiagnosen und internen Vergleichen immer genauere Simulationen und Vorhersagen natürlicher Klimaschwankungen. Solche Ergebnisse fließen direkt in die wissenschaftliche Beurteilung des IPCC (International Panel) ein und trugen entscheidend zur Schlussfolgerung des dritten IPCC-Beurteilungsberichts bei, welcher besagt, dass „es neue und deutlichere Hinweise als bisher darauf gibt, dass ein Großteil der in den letzen 50 Jahren beobachteten Erwärmung auf menschliche Aktivität zurückzuführen ist". Die jährlich aktualisierten IPCC-Berichte stellen die aktuellste wissenschaftliche Informationsquelle des heutigen Wissensstandes zu diesem Thema dar: Die Modellvorhersagen bis zum Jahre 2100 zeigen einen weiteren Anstieg der globalen Mitteltemperatur zwischen +2 und +4 °C (siehe auch Abb. 9). Eine Temperaturerhöhung von derar-

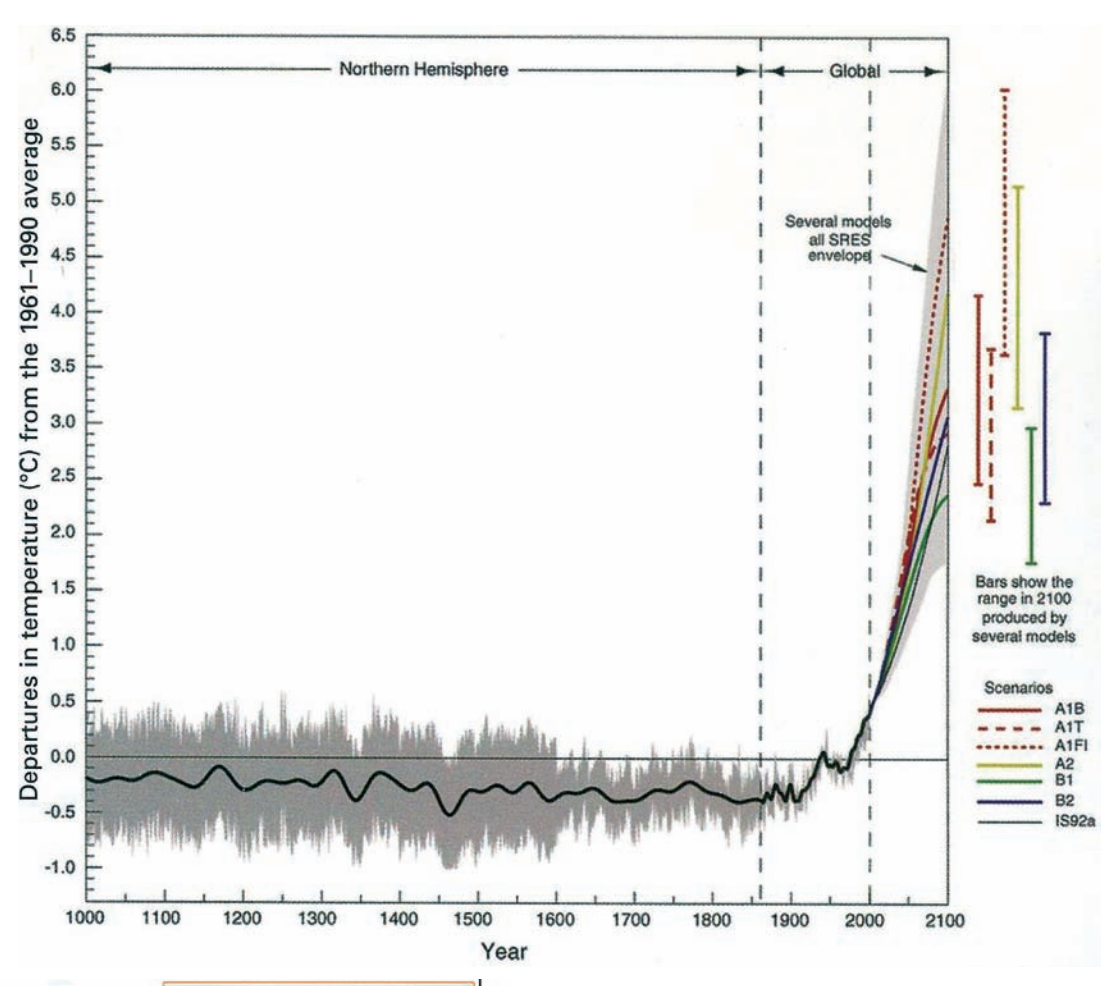



**Abb. 9**: Wie Abb. 5. Man beachte den ansteigenden Trend während der letzten einhundert Jahre. Zeitraum 2000 bis 2100: Modellvorhersagen bis zum Jahre 2100 zeigen je nach gewähltem Szenario einen weiteren Anstieg der globalen Mitteltemperatur zwischen etwa +2 und +4 °C.

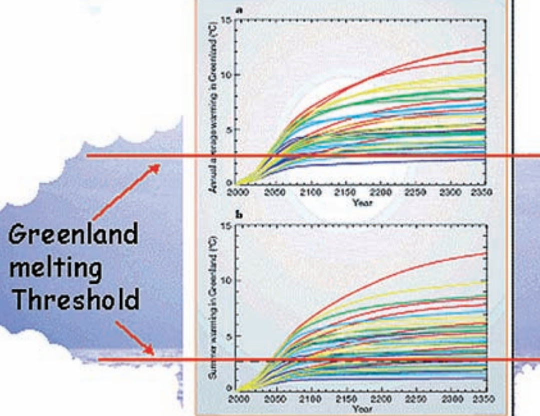



**Abb. 10**: Bei der Mehrzahl der heute verfügbaren Klimamodelle wird Grönland nach 2100 eisfrei. Die dafür notwendige Temperaturerhöhung von etwa +3°C wird überschritten.

tiger Größenordnung bringt alle alpinen Gletscher und sogar die Eisbedeckung Grönlands zum Verschwinden (Abb. 10). Dieser abgeschmolzene Eisvorrat führt im gleichen Zeitraum zum weltweiten Anstieg des Meeresspiegels zwischen 20 und 70 cm. Der wahrscheinlichste Wert für 2100 liegt aus heutiger Sicht bei +50 cm.

## Beitrag zur Risikobeurteilung

Bei der Vorhersagbarkeit von Wetter und Klima gibt es inhärente Grenzen. Die Forschungen zum Paläoklima können die Unsicherheit, die es bei jeder Vorhersage gibt, nicht immer verringern, aber sie können dazu beitragen, die Wahrscheinlichkeit mit der eine bestimmte Situation eintrat (bzw. eintreten wird!) zu klären. Diese Art von Informationen kann bei einer großräumigen Risikomanagement-Strategie äußerst hilfreich sein. Vor kurzem konnten durch den Einsatz von Vorhersagesystemen, die mehrere Klima-Modelle verwenden, Risikoprognosen für bestimmte klimatische Ereignisse und daran gebundene Phänomene, wie etwa der Ausbruch von Seuchen, Hitzewellen, erhöhter Niederschlag oder Dürre erstellt werden.

## Zusammenfassung

Das globale Klimasystem ist das Ergebnis ständiger Wechselwirkungen zwischen der Wärmestrahlung von der Sonne, (mit den Gasen) der Atmosphäre, den Landmassen und den Ozeanen. Seit der Entstehung der Erde vor etwa 4,6 Milliarden Jahren hat sich das Klima in unregelmäßiger Folge geändert, es gab warme und kalte, trockene und feuchte Perioden. Angesichts eines möglichen Klimawandels stellt sich die Frage: „Welche Konsequenzen haben die Eingriffe des Menschen auf das Klima?" In ihren langfristigen Konsequenzen sind sie heute im Detail kaum abzusehen.

Je weiter man zurückgeht, desto ungenauer werden die Informationen zur Klimageschichte, man muss auf ungenaue Methoden wie geologische Verfahren, Sediment- oder Baumringanalysen zurückgreifen. Genauere Aufzeichnungen, insbesondere systematische Messungen, gibt es erst seit etwa 200 Jahren, und diese meist auch nur aus dicht besiedelten Gebieten. Diese mangelhafte Dateninformation stellt die Klimaforschung vor das Problem, festzustellen, ob es sich bei den seit Beginn der Industrialisierung beobachteten Klimaveränderungen um natürliche Schwankungen oder vom Menschen mit-verursachte Schwankungen handelt. Durch Verbesserung von Klimamodellen kann in den letzten Jahren ein deutlicher Fortschritt erzielt werden. Es deutet viel darauf hin, dass die Erwärmung, deren Beginn wir zur Zeit erleben, auf den Menschen (Verbrauch fossiler Brennstoffe) zurückzuführen ist.

Forschungen zum Paläoklima können dazu beitragen, dass die Wahrscheinlichkeit mit der Katastrophen (z. B. Dürren, Überflutungen, Stürme,…) in Zukunft auftreten, besser vorausgesagt werden können.

## Literatur

(Autoren, welche nachfolgend nicht angeführt werden, findet man in Glaser (2001).)


Alexandre P. (1987): Le climat en Europe au Moyen Age. — Paris: 1-827.

Alverson K.D., Bradley R.S. & Th.F. Pedersen (Eds) (2003): Paleoclimate, Global Change and the Future. — The IGBP Series – Global Change. Springer-Verlag, Berlin.

Berghaus (1837): Allgemeine Länder- und Völkerkunde. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für alle Stände. Bd. **2**. — Stuttgart: 1-347.

Bergmann (1769): Physikalische Beschreibung der Erdkugel auf Veranlassung der cosmographischen Gesellschaft. Greifswald: 1-489.

Bradley & Jones (1992): Climate since A.D. 1500. — London-New York: 1-679.

Briffa K.R., Jones P.D., Vogel R.B., Schweingruber F.H., Baillie M.G.L., Shiyatov S.G. & E.A. Vaganov (1999): European Tree Rings and Climate in the 16th Century. — Climatic Change, Special Volume **43** (1): 151-168.

Camuffo (1987): Freezing of the Venetian Lagoon since the 9th Century A. D. in Comparison to the Climate of Western Europe and England. — In: Climatic Change **10**: 43-66.

Cantor (1805): Geschichte der denkwürdigen Naturbegebenheiten auf unserer Erde von Christi Geburt bis auf unsere Zeit. 3 Bde.

Catchpole A.J.W. (1992): Hudson`s Bay Company ships' logbooks as sources of sea ice data, 1751-1870. — In: Bradley & Jones (1992): 17-39.

Demaree G.R., van Engelen A.F.V. & H.A.M. Geurts (1994): Les observations météorologiques de Théodore-Augustin Mann effectuées à Nieuport en 1775, 1776 et 1777. — Ciel et Terre **110**: 41-48.

Deutscher Wetterdienst (2003): Numerische Klimamodelle – Was können sie, wo müssen sie verbessert werden? Teil II: Modellierung natürlicher Klimaschwankungen. — Promet **29** (1-4): 1-60.

Eastion C. (1928): Les hivers dans l`Europe occidentale. — Leyden: 1-210.

Gautiers R. (1911): Hivers chauds, années très humides et très sèches. — Extrait du Globe 33-58, Genf.

Glaser R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. — Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt.

Hellmann G. (1883): Repertorium der deutschen Meteorologie. — Leipzig.

Hennig R. (1904): Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800. — Abh. d. Preuss. Meteor. Inst. **2** (4): 1-93.

Huch M., Warnecke G. & K. German (2001): Klimazeugnisse der Erdgeschichte. Perspektiven für die Zukunft. — Springer-Verlag, Berlin.

Hughes & Diaz (1996): Was there a "Medieval Warm Period" and if so, where and when? — Climatic Change **26**: 109-142.

Jacobeit M.J., Wanner H., Koslowski G. & M. Gudd (1999): European Surface Pressure Patterns for Months with Outstanding Climatic Anomalies during the Sixteenth Century. — Climatic Change **43** (1): 201-221.

Kington (1988): The weather of the 1780's over Europe. — Cambridge: 1-176.

Ladurie Le Roy E. (1983): Histoire du climat depuis l'an mil. — Vol. **1**, **2**. Paris: 1-287, 1-254.

Lamb (1965): Climate: Present, past and future. — Methuen, London. Vol. **1**, 1-800; (1977): Vol. **2**, 1-835.

Lange H.-J. (2002): Klima und Klimatheorien. Kap. 8 aus: Die Physik des Wetters und des Klimas. — Verlag Reimer, Berlin: 427-488.

Lauer W. & P. Frankenberg (1986): Zur Rekonstruktion des Klimas im Bereich der Rheinpfalz seit Mitte des 16. Jahrhunderts mit Hilfe von Zeitreihen der Weinquantität und Weinqualität. Stuttgart – New York: 1-54.

Lauscher (1980): (1980-1992): Wetter u. Leben 32. Jg. und fortlaufende Jge., Insbesondere (1992): Streifzüge durch die Wetterchronik Europas. — Eigenverlag, Wien.

Manley (1974): Central England temperatures: Monthly means 1659 to 1973. — Quart. Journ. R. Met. Soc. **100**: 389-405.

Müller (1823): Fünfhundertjährige Witterungs-Geschichte, besonders der außerordentlichen Kälte; nebst Beobachtungen ihrer Perioden und Einwirkungen auf die Menschheit. Bremen: 1-184.

Norlind A. (1914): Einige Bemerkungen über das Klima der historischen Zeit nebst einem Verzeichnis mittelalterlicher Witterungserscheinungen. — Lunds Universitets Arsskrift, N. F. AFD. **1**, Bd. **10** Nr. 1.

Obrebska-Starkel B. & T. Niedzwiedz (1996): Proceedings of the International Conference on Climate Dynamics and the Global Change Perspective. — Krakau: 1-546.

Parry (1978): Climatic Change and Settlement. — Dawson: 1-214.

Penck A.R. & E. Brückner (1901-1909): Die Alpen im Eiszeitalter. 3 Bände: 1-1199.

Pfaff C.H. (1809): Über die strengen Winter vorzüglich des achtzehnten Jahrhunderts und über den letzt verflossenen Winter von 1808-1809. Kiel.

PFISTER Chr. (1985): Klimageschichte der Schweiz 1525-1860. Bde. **1** und **2**, 2. Aufl. Bern.

PILGRAM A. (1788): Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen. Wien.

POLLUGE L. (1881): Klimaänderungen in historischen Zeiten. — Berlin.

ROTBERG R.I. & T.K. RAPP (Eds) (1981): Climate and history. Studies in interdisciplinary history. — Princeton: 1-280.

RUDLOFF H. v. (1967): Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumenten-Beobachtungen. — Vieweg-Verlag, Braunschweig.

SCHÖNWIESE C. (1995): Klimaänderungen. — Springer-Verlag, Berlin.

SCHWARZBACH M. (1993): Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie (Nachdruck). — Enke-Verlag, Stuttgart.

SCHWEINGRUBER F. (1993): Jahrringe und Umwelt – Dendroökologie. — Eidgenöss. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf: 1-474.

STINE S. (1994): Extreme and persistent drought in California and Patagonia during Medieval time. — Nature **269**: 546-549.

WEIKINN C. (1958-1963): Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850. — Bd. **I-IV**, Berlin.

WIGLEY T.M.L., INGRAM M. & G. FARMER (Eds.; 1981): Climate and History: Studies in Past Climate and their Impact on Man. — Cambridge University Press, Cambridge.WMO (World Meteorological Organization, Geneva 2005): WCRP (World Climate Research Programme). The World Climate Research Programme Strategic.

Framework WCRP-123, WMO/TD-No. 1291, Geneva.

WMO (World Meteorological Organization, Geneva): World Climate News. Weather – Climate – Water. — Series Nos. 1-30 (2006), Geneva.

ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2002): Das Klima des Sonnblicks. — Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft **28**, Wien.

Über die Meteorologische Weltorganisation und das Welt-Klima-Forschungs-Programm: http://www.wmo.ch/index-en.html; http://www.wmo.int

Über IPCC-Berichte: http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php; http://www.ipcc.ch

Über Klimamodelle: http://www-pcmdi.llnl.gov

Über Klimavariabilität: http://www.clivar.org

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr. Georg SKODA
Institut für Meteorologie und
Geophysik der Universität Wien
Althanstraße 14
1090 Wien
Austria
E-Mail: georg.skoda@univie.ac.at